

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Obor: 2302 T010

DYNAMIKA JEHLY V JEHELNÍ DRÁŽCE
OKROUHLÉHO PLETACÍHO STROJE

DYNAMICS OF KNITTING NEEDLE IN NEEDLE
BED OF CIRCULAR KNITTING MACHINE

Číslo: KTS – M 244

LIBEREC 2008

PETR SLAVÍČEK

ORIGINÁL ZADÁNÍ

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and consultant.

Date

Signature

Poděkování

Mé poděkování patří doc. Ing. Jiřímu Mrázkovi, CSc, za cenné rady, které mi vždy ochotně poskytoval a za trpělivost, kterou se mnou při tvorbě mé diplomové práce měl.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tarku Tomehovi za pomoc při tvorbě silového rozboru zatížení platiny.

V neposlední řadě děkuji též Ing. Martinu Bílkovi, Ph.D, za konzultace výsledků mé diplomové práce.

Děkuji též celé Katedře textilních a jednoúčelových strojů a jejímu kolektivu za poskytnuté podmínky pro zpracování této práce.

Největší dík patří mé rodině a přítelkyni, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá dynamikou jehly v jehelní drážce okrouhlého pletacího stroje. V úvodu práce je provedena rešerže okrouhlých pletacích strojů a je stručně popsán program MATLAB/SIMULINK. Jako první část řešení byl proveden silový rozbor zatížení platiny. Následně byla dle tohoto rozboru sestavena pohybová rovnice platiny a podle této rovnice byl sestaven model v programu MATLAB/SIMULINK. Pomocí tohoto modelu byly zjištěny meze vzpříčení platiny v drážce pro různé geometrie stahovacích zámků. Na závěr bylo provedeno porovnání s experimentálně zjištěnými hodnotami.

This Diploma Work deals with dynamics of knitting needle in needle bed of circular knitting machine. Various types of circular knitting machines are described in the first chapter. Description of MATLAB/SIMULINK program is also included. An equation of motion was derivated from strenght analysis of sinker loading. A MATLAB/SIMULINK model was assembled according to this equation. This model was used to detect seizing limit of sinker in needle bed of cylinder. A comparasion with experimentally found values was made in the end of this work.

Klíčová slova

Klíčová slova v českém jazyce:

Platina, jehla, vzpříčení, dynamika, okrouhlý pletací stroj, silový rozbor, pohybová rovnice

Klíčová slova v anglickém jazyce:

Sinker, needle, jamming, dynamics, circular knitting machine, strenght analysis, equation of motion.

Obsah

1. ÚVOD	11
2. ROZDĚLENÍ PLETAŘSKÝCH STROJŮ	12
2. 1 Okrouhlé pletací stroje	13
2.1.1 Jednoválcový punčochový stroj s přístrojem	14
2.1.2 Dvoulůžkový okrouhlý pletací stroj	15
2.1.3 Obourubní okrouhlé pletací stroje	15
2.2 Pletařské jehly	17
2.3 Platiny pletařských strojů	18
2.4 Zámky zátažných pletařských strojů	19
3. MATLAB / SIMULINK	20
3.1 Co je SIMULINK?	20
3.2 Řešení diferenciálních rovnic v MATLAB / SIMULINKu	20
3.2.1 Metoda snižování řádu	20
3.2.2 Metoda postupné integrace	21
4. ROZBOR SILOVÉHO PŮSOBENÍ NA PLATINU	23
4.1 Tvorba pohybové rovnice	25
4.2 Popis členů pohybové rovnice a zadané parametry:	28
4.2.1 Zadané parametry:	28
4.2.2 Konstanta tuhosti C	28
4.2.3 Reakce R_1 , R_2 , R_3	29
4.2.4 Normálová síla N	29
4.2.5 Tlumení	30
4.2.6 Koeficient tření	30
4.3 Geometrie stahovacích zámků	31
4.3.1 Čas průchodu platiny zámkem	31
4.3.2 Vztahy popisující geometrii zámku:	31
4.4. Tvorba vstupních závislostí	33
5. MODEL V PROGRAMU MATLAB/SIMULINK	34
5.1 Bloky použité ke tvorbě modelu:	34
5.2 Popis sestaveného modelu	36
5.3 Průběhy kinematických závislostí	38
5.4 Výsledky simulace modelu	41
5.4.1 Zámek s úhlem stoupání dobřehové části 45°	41

5.4.2 Zámek s úhlem stoupání doběhové části 50°	42
5.4.3 Zámek s úhlem stoupání doběhové části 55°	42
5.5 Vliv konstanty tuhosti na průběh kinematických veličin.....	43
 6. POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH HODNOT S EXPERIMENTÁLNĚ ZJIŠTĚNÝMI.....	 46
7. ZÁVĚR.....	47
 Seznam použité literatury	 48
Seznam příloh.....	49

Použité symboly a zkratky

F_p	Síla od jehly	N
R_1, R_2, R_3	Reakce od předpružení	N
T_{R1}, T_{R2}, T_{R3}	Třecí síly od předpružení	N
R_A	Reakce od pružiny	N
T_{RA}	Třecí síla od R_A	N
R_B	Reakce ode dna drážky	N
T_{RB}	Třecí síla od R_B	N
R_4, \bar{R}_4	Reakce od zkrucování platiny v drážce	N
$T_{R4}, T_{\bar{R}4}$	Třecí síly od R_4, \bar{R}_4	N
N	Normálová síla od zámku	N
T	Třecí síla od zámku	N
P_1, P_2, P_3	Konstanty pohybové rovnice	-
α_1, α_2	Úhel stoupání rozběhové a doběhové části zámku	°
C	Tuhost	N.m^{-1}
k	Konstanta tlumení	N.s.m^{-1}
n	Otáčky jehelního válce	s
D	Průměr jehelního válce	m
ω	Úhlová rychlost	rad.s^{-1}
m	Hmotnost platiny	kg
t	Doba průběhu platiny zámkem	s
$y_z; y$	Zdvih zámku; platiny	m
$y'_z; y'$	Rychlost zámku; platiny	m/s

$y_z''; y''$	Zrychlení zámku; platiny	m/s ²
f	Součinitel tření	-
R	Poloměr obloukového přechodu zámku	m
\widehat{l}	Délka obloukové části zámku	m
q	Dělení oblouku	m
p	Počet dílků	-
$\Delta \widehat{l}; \Delta l$	Délka jednoho dílku dělení	m
$\Delta \alpha$	Přírůstek úhlu stoupání zámku	°
α_p	Obecný úhel stoupání zámku	°
$\Delta x_{obl}; \Delta y_{obl}$	Průmět dílku oblouku na osu x; y	m
$x_1; y_1$	Průmět rozběhové části zámku na osu x; y	m
$x_2; y_2$	Průmět doběhové části zámku na osu x; y	m
$t_{\Delta x_{obl}}$	Doba průběhu platiny přes jeden dílek oblouku	s
t_{x_1}	Doba průběhu platiny přes rozběhovou část	s
t_{x_2}	Doba průběhu platiny přes doběhovou část	s

1. ÚVOD

Pletenina bývala nezastupitelnou plošnou textilií, která dříve uspokojovala potřeby člověka převážně v oblasti odívání a bytových textilií. V současnosti nalezla též široké uplatnění v oblasti technických textilií. Její charakteristickou vlastností je vysoká tažnost, elasticita a přizpůsobivost tvarům. Má dobré tepelně-izolační vlastnosti, je prodyšná a měkká. Na rozdíl od tkaniny může pletenina vzniknout i z jedné soustavy rovnoběžně položených nití s upevněnými otevřenými konci. Pokud si připomeneme jen některé výrobky z pletenin, jsou to: svrchní ošacení, dále výroba prádla, punčochových výrobků, rukavic, potahových textilií, koberec, záclonovin, lůžkovin, filtrů a řada obalových a technických textilií.[1]

Tato diplomová práce se zabývá dynamikou jehly v jehelní drážce okrouhlého pletacího stroje. Mým úkolem je především zjistit, při jakém koeficientu tření dojde ke vzpříčení platiny v drážce maloprůměrového pletacího stroje pro různé geometrie zámku s rádiusovým přechodem z rozběhové do doběhové části zámku. Dále pro všechny tyto geometrie vyšetřuji průběh kinematických veličin platiny při jejím průchodu zámkem. Všechny tyto výpočty provádím pomocí matematického modelu v programu MATLAB/SIMULINK. Tento model je sestaven na základě odvozené pohybové rovnice platiny.

2. ROZDĚLENÍ PLETAŘSKÝCH STROJŮ

Pletařské stroje rozdělujeme podle několika hledisek:

1) Podle způsobu pracovního pohybu jehel

- a) **pletací stroje**, kde se jehly pohybují jednotlivě
- b) **stávky a rašly** se současným pohybem jehel

2) Podle způsobu pletení a použití pletařských vazeb

- a) **zátažné** - k výrobě zátažných pletenin
- b) **osnovní** - k výrobě osnovních pletenin

3) Podle tvaru jehelního lůžka

- a) **ploché** - s plochými lůžky
- b) **okrouhlé** - s okrouhlými lůžky

4) Podle počtu lůžek a jejich uspořádání

- a) **jednolůžkové** - mají jednu soustavu jehel pro výrobu jednolícnicích pletenin
- b) **dvoulůžkové** - mají dvě soustavy jehel pro výrobu oboulícnicích nebo obourubnicích pletenin

5) Další hlediska dělení pletařských strojů

- a) podle počtu systémů
- b) podle vzorovacího zařízení
- c) podle druhu pletené vazby
- d) podle skupiny vyráběných výrobků

Protože se tato práce zabývá dynamikou jehly v drážce okrouhlého pletacího stroje, budou dále podrobněji popsány právě tyto stroje.

2. 1 Okrouhlé pletací stroje

Tyto stroje tvoří nejvýznamnější skupinu výrobního zařízení v pletařském průmyslu s neustále rostoucím výkonem a širšími vzorovacími možnostmi. Okrouhlé pletací stroje dělíme:

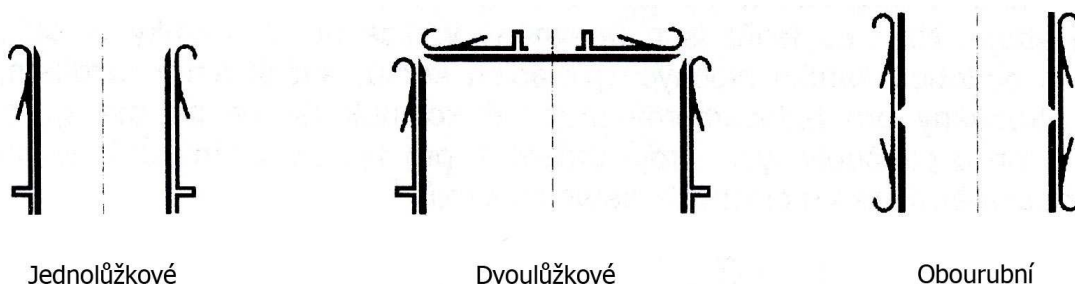
1) Podle velikosti průměru jehelního válce

- a) **velkopřůměrové stroje** - převážně výroba hadicové metráže do průměru 40“
- b) **stroje tělového průměru** - výroba svrchního šacení apod do průměru 24“
- c) **malopřůměrové stroje** - výroba rozsáhlého sortimentu punčochového zboží do průměru 6,5“

2) Podle uspořádání jehelních lůžek

- a) **jednolůžkové stroje** - mají jedno lůžko, nejčastěji válcové
- b) **dvoulůžkové stroje** – mají lůžko válcové, ke kterému je přiřazeno lůžko talířové, nazývané u malopřůměrových strojů lůžko přístrojové
- c) **obourubní stroje** – mají dvě válcová lůžka uspořádaná nad sebou s osazením oboustranných jehel

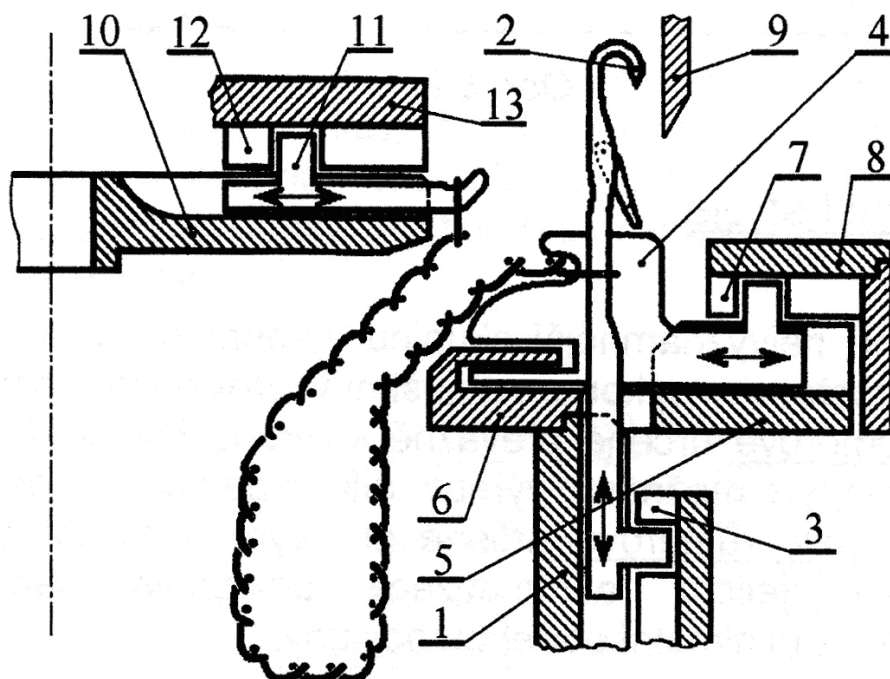
Uspořádání lůžek okrouhlých pletacích strojů je patrné z obr. 2.1. Jednolůžkové stroje mají jedno lůžko, nejčastěji válcové. Dvoulůžkové stroje mají lůžko válcové, ke kterému je přiřazeno lůžko talířové, nazývané u malopřůměrových strojů lůžko přístrojové. Obourubní stroje mají dvě válcová lůžka uspořádaná nad sebou s osazením oboustranných jehel



Obr. 2.1 – Uspořádání lůžek na okrouhlých pletacích strojích

2.1.1 Jednoválcový punčochový stroj s přístrojem

Princip uspořádání pracovního ústrojí jednolůžkového punčochového stroje s přístrojem je znázorněn na obr.2.2 .



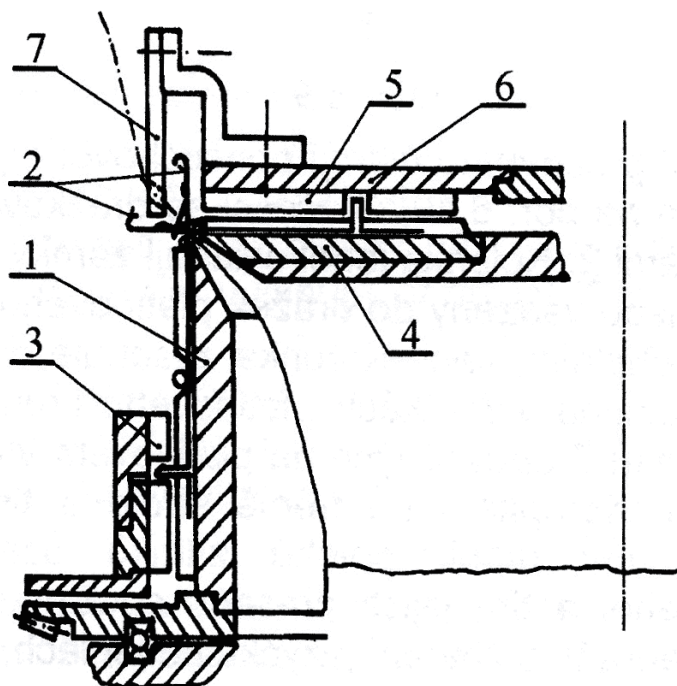
Obr. 2.2 – Jednoválcový punčochový stroj s přístrojem

Otáčející se drážkovaný jehelní válec **1** je osazen jazýčkovými jehlami **2**. Kolénka jehel ovládají zámky **3** upevněné na frémě stroje. Uzavírací platiny jsou vsazeny do drážek platinového kruhu **5** nasazeného spolu s korunkou **6** na jehelním válci. Korunka zasahuje do vybrání uzavíracích platin a zajišťuje jejich polohu v drážkách platinového kruhu. Pohyb uzavíracích platin je odvozen od zámků **7** upevněných na platinovém víku **8**, které je spojeno přes regulační šrouby s výstupkem na frémě stroje a tím je zamezeno jeho otáčení. Regulační šrouby určují polohu zámků uzavíracích platin vůči zatahovacím zámkům jehel a tím jejich přesnou součinnost. Vodičový kruh **9** obepíná věnec jehel a zabraňuje zavření jazýčku na jehlách, které jsou v uzavírací či vyšší poloze. V místě otevření vodičového kruhu se zařazují do činnosti vodiče nití. Stroj je vybaven přístrojem, který tvoří talířové lůžko **10**, v jehož drážkách jsou vložena přístrojová pera **11**, která při svém vysunutí stojí přesně nad hlavami sudých jehel. Talířové lůžko se otáčí přes ozubená kola společně s jehelním válcem.

Pohyb přístrojových per zajišťují zámky **12** upevněné na přístrojové desce **13** spojené s frémou stroje.

2.1.2 Dvoulůžkový okrouhlý pletací stroj

Řez lůžka dvoulůžkového okrouhlého pletacího stroje je zobrazen na obr. 2.3. V drážkách jehelního válce **1** jsou uloženy jehly **2** jejichž kolénka ovládají zámky **3** upevněné na frémě stroje. Druhé lůžko je tvořeno talířem **4** a jazýčkovými jehlami **2**, které ovládají zámky **5** připevněné na víku talíře **6**, jež je fixně spojeno s frémou stroje.



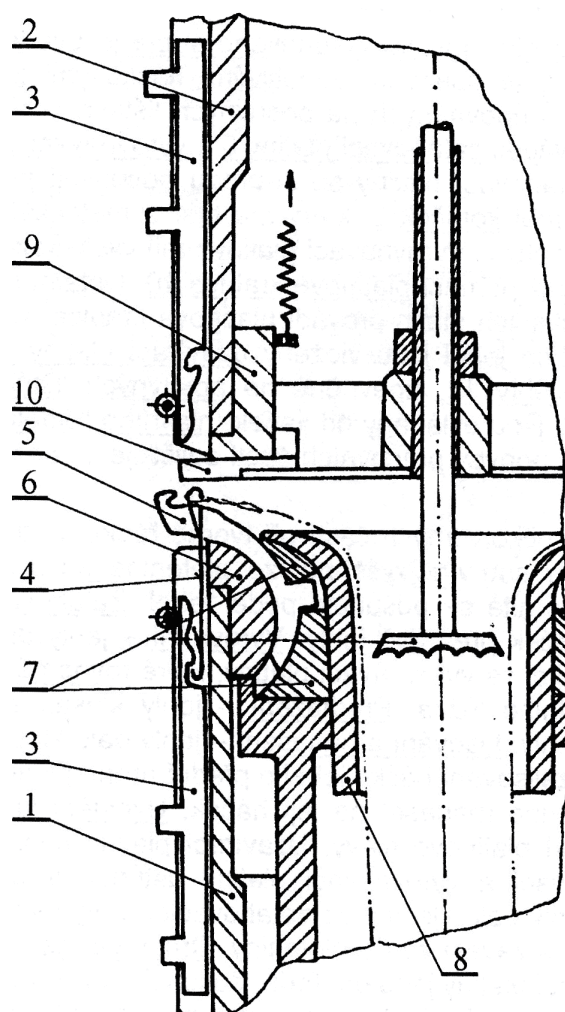
Obr. 2.3 – Dvoulůžkový okrouhlý pletací stroj

Na víku talíře jsou upevněny vodiče nití **7**. Zámky okrouhlých strojů jsou obdobou zámků plochých pletacích strojů, avšak s tím rozdílem, že jsou konstruovány pro jednosměrný průchod kolének (stroje se otáčejí zleva doprava). Jen u punčochových strojů určených pro výrobu vratné paty je hlavní zámek obousměrný jako u plochých pletacích strojů.

2.1.3 Obourubní okrouhlé pletací stroje

Tyto stroje slouží pro výrobu obourubních pletenin. Jako velkopřůměrové se vyskytují zřídka. Především se uplatňují jako malopřůměrové pro výrobu punčochového

zboží, kde se využívá kromě velkých vzorovacích možností hlavně možnost plést oboulícní i jednolícní pleteninu. Průřez válci takového stroje je patrný na obr. 2.4. V jehelních válcích **1** a **2** postavených drážkami proti sobě jsou vsazeny ovládací platiny **3**, které ovládají oboustranné jehly **4**. Spodní válec je osazen uzavíracími platinami **5**, které umožňují, jsou-li jehly ve spodním válci, pletení úpletu bez odtahu zboží. Platiny se pohybují v drážkách platinového kroužku **6**. Jejich kolénka ovládají zámky **7** upevněné na trubce **8**, která je obdobným způsobem jako víko platinového kruhu u jendoválců spojena s frémou stroje. V horním válci je vložena duše **9**

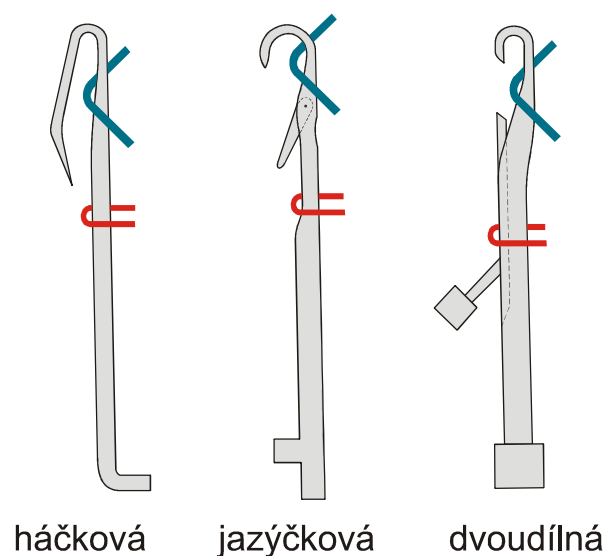


Obr. 2.4 – Obourubní okrouhlý pletací stroj

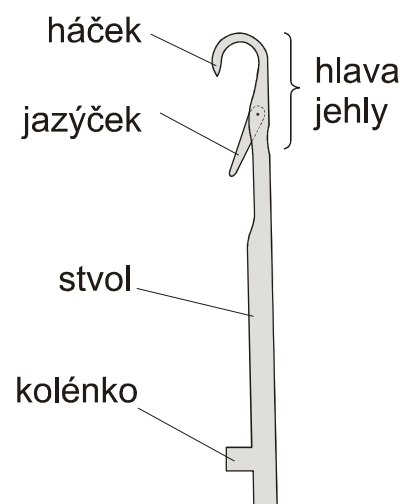
s odhazovacími platinami **10**. Duše je svisle posuvná a tím lze měnit též polohu odhazovacích platin. Při pletení jehel v horním válci je duše **9** ve spodní poloze, platiny zajišťují odhoz rubních oček a jehly přes ně zatahují kličku. Při pletení paty je duše v horní poloze, aby se uvolnily platinové oblouky rubních oček a tím nebyla očka v průběhu výroby paty namáhána. [1]

2.2 Pletařské jehly

Společnou součástí všech pletařských strojů jsou různé druhy pletařských jehel a platin. Na obr. 2.5 jsou uvedeny tři základní typy jehel: jehla háčková, jazýčková a dvoudílná. Vyskytují se v mnoha modifikacích podle typu stroje, avšak jejich společnou vlastností je schopnost tvorby oček. Na obr. 2.6 jsou popsány části jazýčkové jehly.



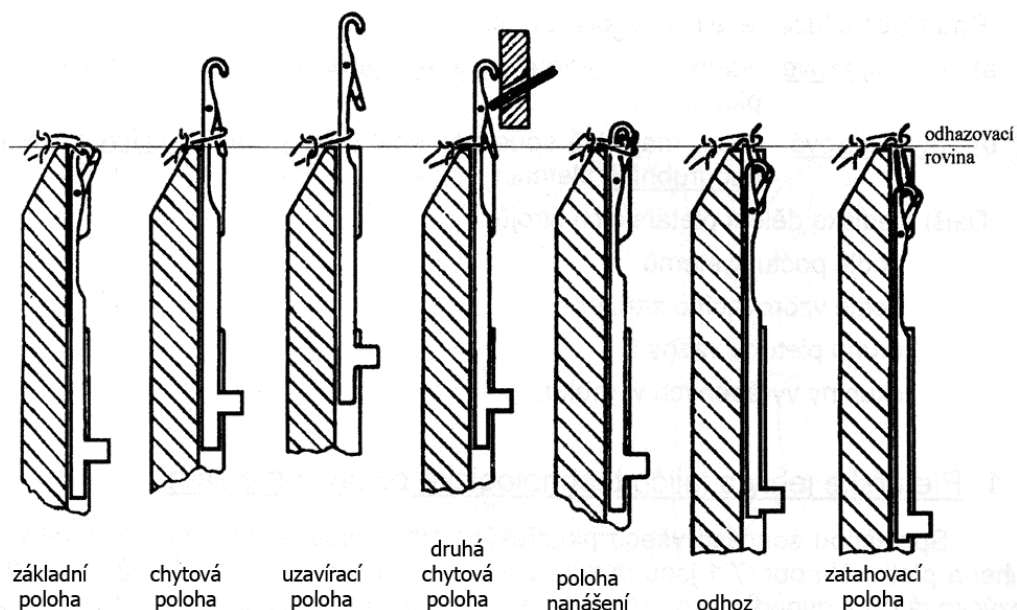
Obr. 2.5 – Základní typy jehel



Obr. 2.6 – Jazýčková jehla

Rozkreslení tvorby oka je patrné z obr. 2.7, který určuje postavení hlavy jehly vůči odhazovací rovině. Jehla v **základní poloze** stojí svou hlavou mírně pod odhazovací rovinou a uvolňuje na ní visící oko. Jehla se začne zvedat do **chytové polohy**. Staré oko odklopí otočně uložený jazýček a přesune se na něj. Dále se jehla zvedá do **uzavírací polohy**, přičemž oko přepadne přes otevřený jazýček na stvol jehly. Poté se jehla vrací do **druhé chytové polohy**, kde dochází ke kladení nitě na jehlu a její zachycení v háčku jehly. Při dalším pohybu jehly staré oko zavře jazýček a přesune se na něj – **poloha nanášení**. Dalším klesáním jehly pod odhazovací rovinu následuje **odhoz** starého oka. Přitom dojde k protažení kličky starým očkem a vznik nového oka, jehož délka je určena stažením jehly do nejnižší **zatahovací polohy**. Při pletení zátažné pleteniny probíhá tato činnost na paralelně uložených jehlách ve formě jakési vlny, tudíž v určitém časovém úseku se na tvorbě řádku podílí větší počet jehel.

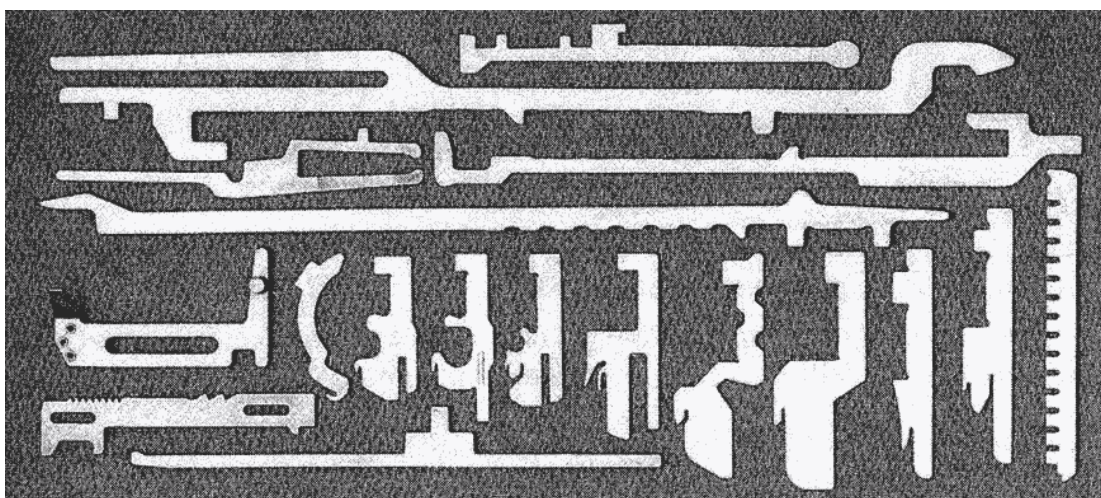
[1]



Obr. 2.7 – Tvorba oka

2.3 Platiny pletářských strojů

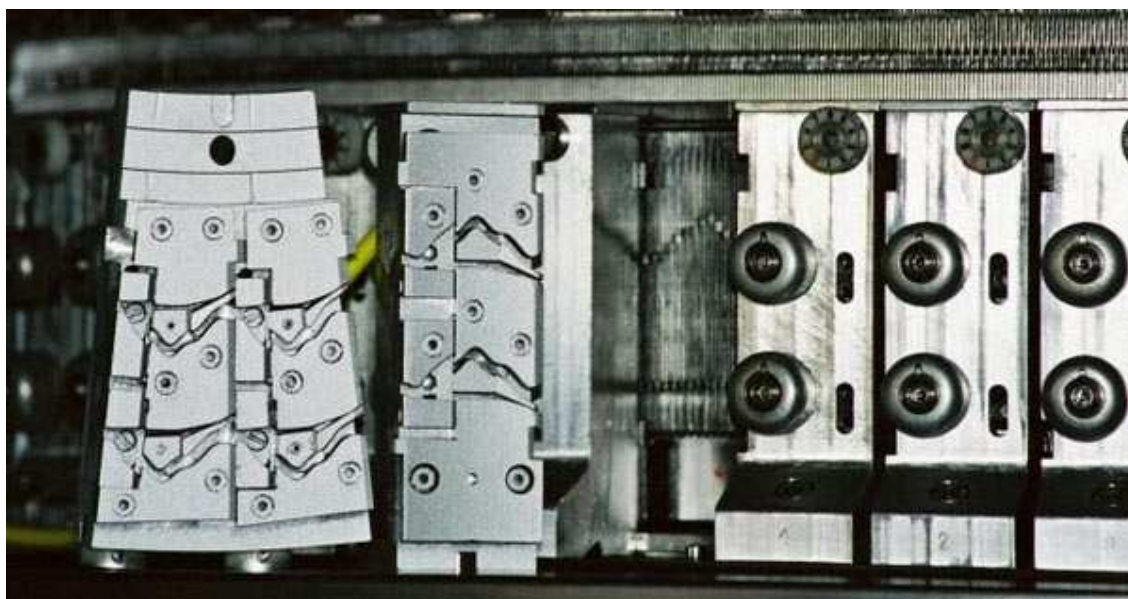
Všeobecně lze říci, že platiny jimiž jsou osazovány pletářské stroje plní v podstatě dvě funkce. Buď přicházejí do styku s nití a podílí se spolu s jehlou na tvorbě oček, nebo napomáhají k zajištění volby jehel nebo jejich pohybu. Přehled platin pro okrouhlé pletací stroje je znázorněn na obr. 2.8. Jedná se o ploché útvary vyrobené z kvalitní zušlechtěné oceli.



Obr. 2.8 – Platiny pro okrouhlé pletací stroje

2.4 Zámky zátažných pletařských strojů

Pohyb jehel pletacích strojů je odvozen od zámků. Tvoří je ploché klíny, které působí na kolénka jehel (platin) a přesouvají je mezi zatahovací a uzavírací polohou nebo zařazují či vyřazují z činnosti procesu pletení. Realizace pohybu jehel působením zámků na jejich kolénka umožňuje s využitím dalších mechanismů libovolnou dráhu jehly pro pletení, vzorování či tvarování úpletu. Maximalizace počtu systémů na pletacích strojích vede ke zvyšování strmosti úhlů zámku, extrémně až na $\alpha=62^\circ$. Strmý úhel na stahovači znamená zkrácení úseku dráhy jehly pro zatahování, tím menší počet jehel současně činných v zatahovacím procesu očka a tím zvýšení namáhání nitě. Naopak strmý úhel vede ke zvýšení namáhání soustavy jehla – zámek – lůžko, zvyšování příkonu stroje, snížení mechanické účinnosti soustavy, zvýšení opotřebení apod. [2]



Obr. 2.9 – Zámky okrouhlého pletacího stroje

3. MATLAB / SIMULINK

3.1 Co je SIMULINK?

SIMULINK je nadstavba MATLABu. Využívá grafických možností hostitelské platformy (Windows). Způsob zápisu modelu i celkový způsob práce je značně odlišný od práce s vlastním MATLABem, který je orientován na řádkové příkazy.

SIMULINK je především určen na časové řešení (simulaci) chování dynamických systémů. Lze s jeho pomocí určit časové průběhy vstupních veličin (a všech ostatních) v závislosti na časovém průběhu veličin vstupních a počátečním stavu. Popis soustavy může být značně složitý a rozsáhlý. Může obsahovat i algebraické rovnice a vzorkované (diskrétní) výpočty. Ačkoliv SIMULINK poskytuje nástroje na řešení diskrétních událostí, není primárně vhodný na řešení úloh, kde se přepínají (nebo větvi) odlišná řešení podle nastalých situací.

Přístup k zápisu problému silně připomíná návrh zapojení pro analogový počítač. Co zaujme na první pohled, je grafický způsob zápisu – v terminologii SIMULINKu nazvaný model. Z nabídky příslušné knihovny se přetahují bloky a pak se myší spojují odpovídající vstupy a výstupy. Jako zdroj signálu se používají nejčastěji signály z knihovnických bloků generujících základní typy signálů s volitelnými parametry. Lze též používat data připravená ze souboru. Výsledek simulace – časový průběh řešení – se zobrazuje nejčastěji graficky pomocí standardních bloků – zobrazení typu osciloskop (Scope) či XY graf. [4]

3.2 Řešení diferenciálních rovnic v MATLAB / SIMULINKu

Řešení diferenciálních rovnic lze provést rovněž pomocí simulačních programů. Existují dvě metody řešení.

- 1) **Metoda snižování řádu**
- 2) **Metoda postupné integrace**

3.2.1 Metoda snižování řádu

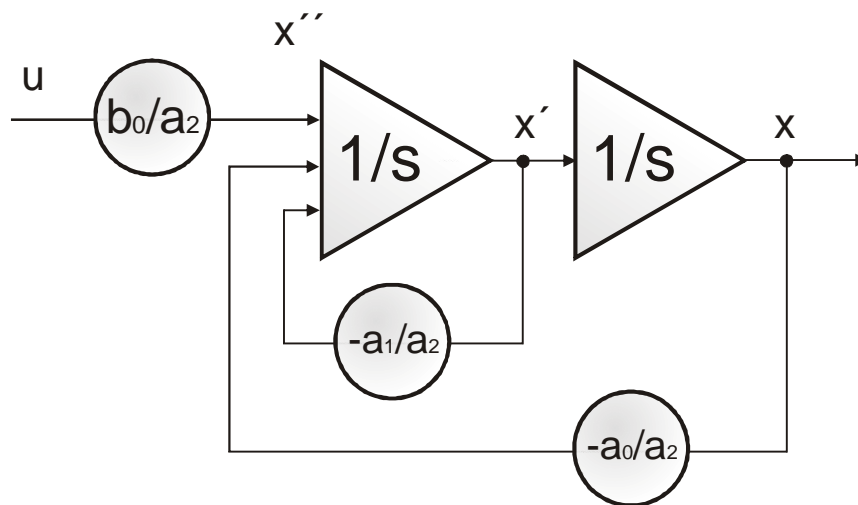
Uvažujeme diferenciální rovnici bez derivace na pravé straně

$$a_2 x'' + a_1 x' + a_0 x = b_0 u$$

Pro návrh regulačního schématu upravíme rovnici do tvaru

$$x'' = \frac{b_0}{a_2} u - \frac{a_1}{a_2} x' - \frac{a_0}{a_2} x$$

Dostali jsme tak diferenciální rovnici ve tvaru vyjadřujícím nejvyšší derivaci x'' jako lineární kombinaci derivací nižších, čímž snadno realizujeme schéma ve tvaru:



Obr. 3.1 – Schéma metody snižování řádu

3.2.2 Metoda postupné integrace

Uvažujeme opět diferenciální rovnici

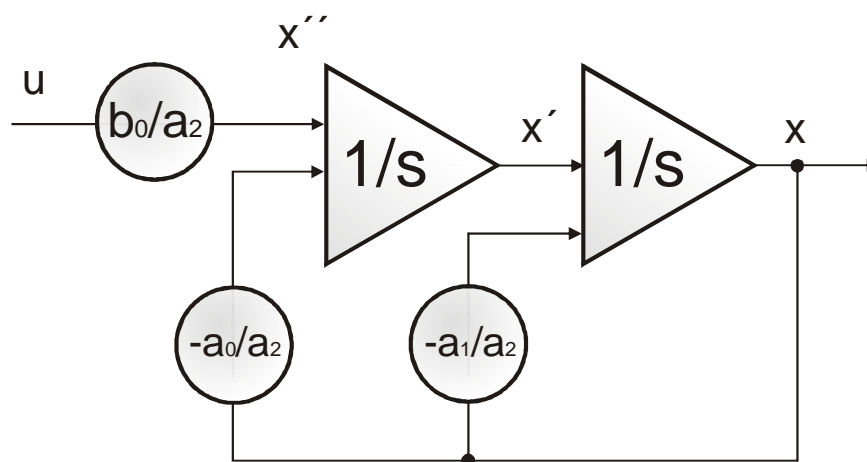
$$a_2 x'' + a_1 x' + a_0 x = b_0 u$$

Tuto rovnici dvakrát integrujeme a intervalu od 0 do t za předpokladu nulových počátečních podmínek

$$a_2 x_{(\tau)} + a_1 \int_0^{\tau} x(\tau) d\tau + a_0 \int_0^{\tau} \int_0^{\tau} x(\tau) d\tau^2 = b_0 \int_0^{\tau} \int_0^{\tau} u(\tau) d\tau^2$$

Osamostatníme-li $x(\tau)$, pak

$$x(\tau) = \frac{b_0}{a_2} \int_0^\tau \int_0^\tau u(\tau) d\tau^2 - \frac{a_1}{a_2} \int_0^\tau x(\tau) d\tau - \frac{a_0}{a_2} \int_0^\tau x(\tau) d\tau^2$$



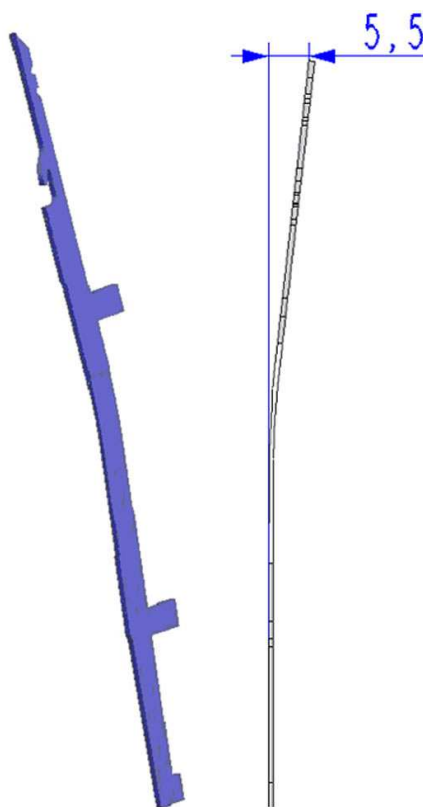
Obr. 3.1 – Schéma metody postupné integrace

[3]

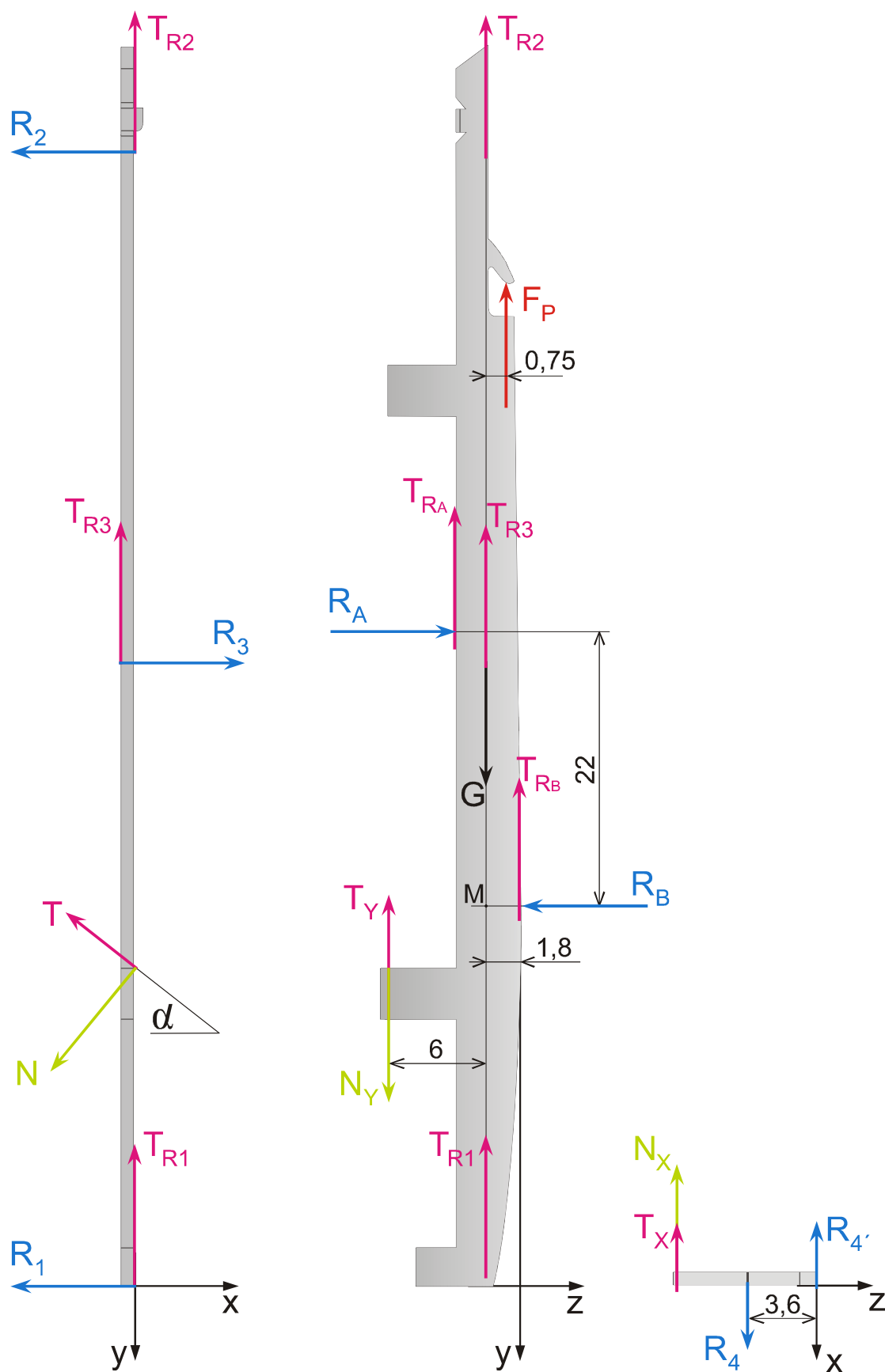
4. ROZBOR SILOVÉHO PŮSOBENÍ NA PLATINU

Na jehlu nebo platinu působí celá řada sil a jevů, které mají zásadní vliv na kinematické veličiny pohybu jehly, na silové působení na jehlu a na pasivní odpory jehly. Tyto problémy jsou způsobeny různými tvary zámků, kde byly použity různé zdvihové závislosti od přímkových přes křivkové až k použití tzv. splinů. Situace na zámku se však komplikuje tím, že kolénko jehly (platiny) nabíhá na zámek v různých místech jeho zdvihové závislosti, čímž jsou tato místa předurčena ke vzniku rázů. Kromě vlastností zámků se na rázu též významně podílí i vlastnosti jehly. Velký problém představuje stanovení rozložení zatěžujících sil, stanovení jejich polohy a velikosti. Dále je velice důležité chování jehly v drážce a stanovení jejich elastických vlastností. [5]

Před vložením platiny do drážky jehelního válce se tato musí předpružit. To se provede tak, že ji s určitým poloměrem vyhneme v místě vybrání tak, aby jeden konec byl vyhnutý o potřebnou hodnotu – v našem případě 5,5 mm (viz. obr.4.1). Velikost předpružení také určuje velikost reakcí mezi platinou a drážkou. Pro vložení platiny do drážky se tato rukou narovná a do dané drážky se umístí.



Obr. 4.1 – Ohnutá platina



Obr. 4.2 – Silový rozbor zatížení platiny

4.1 Tvorba pohybové rovnice

Na obr. 4.2 je znázorněn silový rozbor zatížení platiny. Zatížení působí ve třech rovinách. Od daného předpružení působí mezi platinou a boky drážky reakce R_1 , R_2 a R_3 . Reakce R_a a R_b jsou dány stažením platiny pružinou resp. opřením platiny o dno drážky. Síla F_p je síla od jehly a jsou v ní zahrnuty jak dynamické účinky, tak tah v přízi, pasivní odpory a vlastní tíže jehly. Síly N a T jsou reakce působící na kolénko platiny od zámku.

Pro toto silové působení lze napsat pohybovou rovnici:

Ve směru x:

$$R_3 - R_1 - R_2 - N_x - T_x + R_4 - \overline{R_4} = 0 \quad (4.1)$$

$$-N \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot \sin \alpha + R_4 - \overline{R_4} = 0 \quad (4.2)$$

Ve směru y:

$$m \cdot g - F_p - m \cdot \ddot{y} + N_y - T_y - T_{R1} - T_{R2} - T_{R3} - T_{R4} - T_{\overline{R4}} - T_{RA} - T_{RB} = 0 \quad (4.3)$$

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot g - F_p + N \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot \sin \alpha - \\ - f(R_1 + R_2 + R_3) - R_4 \cdot f - \overline{R_4} \cdot f - R_A \cdot f - R_B \cdot f \quad (4.4)$$

Ve směru z:

$$R_A - R_B = 0 \quad (4.5)$$

Součet momentů k bodu M v rovině yz:

$$\sum M_M = 0 \quad (4.6)$$

$$F_p \cdot 0,75 - T_{RA} \cdot 1,8 + T_{RB} \cdot 1,8 + N_y \cdot 6 - T_y \cdot 6 - R_A \cdot 22 = 0 \quad (4.7)$$

$$R_A = \frac{0,75}{22} F_p + \frac{6}{22} \cdot N \cdot \cos \alpha - \frac{6}{22} \cdot N \cdot f \cdot \sin \alpha = R_B \quad (4.8)$$

Součet momentů k počátku soustavy souřadnic v rovině zx:

$$\sum M_0 = 0 \quad (4.9)$$

$$R_4 \cdot 3,6 - N_x \cdot 7,8 - T_x \cdot 7,8 - R_1 \cdot 1,8 - R_2 \cdot 1,8 + R_3 \cdot 1,8 = 0 \quad (4.10)$$

$$R_4 = \frac{7,8}{3,6} \cdot (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \quad (4.11)$$

$$\overline{R_4} = R_4 - N \cdot \sin \alpha - N \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (4.12)$$

$$\overline{R_4} = (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \frac{7,8}{3,6} - N \cdot \sin \alpha - N \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (4.13)$$

$$\overline{R_4} = \left(\frac{7,8}{3,6} - 1 \right) (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \quad (4.14)$$

$$\overline{R_4} = \frac{4,2}{3,6} (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \quad (4.15)$$

Rovnice (4.8), (4.11), (4.15) dosadíme do rovnice (4.4):

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot g - F_p + N \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot \sin \alpha - f(R_1 + R_2 + R_3) - \\ - R_4 \cdot f - \overline{R_4} \cdot f - R_A \cdot f - R_B \cdot f \quad (4.4)$$

a dostaneme:

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot g - F_p + N \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot \sin \alpha - f(R_1 + R_2 + R_3) - \\ - \frac{7,8}{3,6} \cdot (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \cdot f - \\ - \frac{4,2}{3,6} (N \cdot \sin \alpha + N \cdot f \cdot \cos \alpha) \cdot f - 2 \left(\frac{0,75}{22} F_p + \frac{6}{22} \cdot N \cdot \cos \alpha - \frac{6}{22} \cdot N \cdot f \cdot \sin \alpha \right) \cdot f \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned}
m \cdot \ddot{y} = & m \cdot g - F_p + N \cdot \cos \alpha - N \cdot f \cdot \sin \alpha - f(R_1 + R_2 + R_3) - \frac{7,8}{3,6} \cdot N \cdot f \cdot \sin \alpha - \\
& - \frac{7,8}{3,6} \cdot N \cdot f^2 \cdot \cos \alpha - \\
& - \frac{4,2}{3,6} \cdot N \cdot f \cdot \sin \alpha - \frac{4,2}{3,6} \cdot N \cdot f^2 \cdot \cos \alpha - \frac{0,75}{11} f \cdot F_p - \frac{6}{11} f \cdot N \cdot \cos \alpha + \frac{6}{11} N \cdot f^2 \cdot \sin \alpha
\end{aligned} \tag{4.18}$$

$$\begin{aligned}
m \cdot \ddot{y} = & m \cdot g - F_p \left(1 + \frac{0,75}{11} f \right) - f(R_1 + R_2 + R_3) + \\
& + N \left[\sin \alpha \left(\frac{6}{11} f^2 - \frac{15,6}{3,6} f \right) + \cos \alpha \left(-\frac{12}{3,6} f^2 - \frac{6}{11} f + 1 \right) \right]
\end{aligned} \tag{4.19}$$

Upravená pohybová rovnice včetně členu obsahujícího tlumení:

$$\begin{aligned}
\ddot{y} = & \frac{m \cdot g - F_p \left(1 + \frac{0,75}{11} f \right) - f(R_1 + R_2 + R_3)}{m} + \\
& + \frac{N \left[\left(\sin \alpha \right) \left(\frac{6}{11} f^2 - \frac{15,6}{3,6} f \right) + \left(\cos \alpha \right) \left(-\frac{12}{3,6} f^2 - \frac{6}{11} f + 1 \right) \right]}{m} + \frac{k}{m} \left(\dot{y}_z - \dot{y} \right)
\end{aligned} \tag{4.20}$$

Vyjádřené konstanty:

$$P_1 = \frac{m \cdot g - F_p \left(1 + \frac{0,75}{11} f \right) - f(R_1 + R_2 + R_3)}{m} \tag{4.21}$$

$$P_2 = \frac{\frac{6}{11} f^2 - \frac{15,6}{3,6} f}{m} \tag{4.22}$$

$$P_3 = \frac{-\frac{12}{3,6}f^2 - \frac{6}{11}f + 1}{m} \quad (4.23)$$

$$\ddot{y} = P_1 + N \cdot [P_2 \cdot \sin \alpha + P_3 \cdot \cos \alpha] + \frac{k}{m} \left(\dot{y}_z - \dot{y} \right) \quad (4.24)$$

Rovnice, podle níž budeme sestavovat matematický model:

$$\ddot{y} = P_1 + \left[\frac{C(y_z - y)}{\cos \alpha} \right] \cdot [P_2 \cdot \sin \alpha + P_3 \cdot \cos \alpha] + \frac{k}{m} \left(\dot{y}_z - \dot{y} \right) \quad (4.25)$$

4.2 Popis členů pohybové rovnice a zadané parametry:

4.2.1 Zadané parametry:

Otáčky jehelního válce:	$n = 350 \text{ min}^{-1}$
Průměr jehelního válce:	$D = 96 \text{ mm}$
Hmotnost platiny:	$m = 1,5 \text{ g}$
Čas průběhu platiny zámkem:	$t = 11,3 \text{ ms}$
Konstanta tuhosti:	$C = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ N.m}^{-1}$
Reakce R_1 :	$R_1 = 3,2014 \text{ N}$
Reakce R_2 :	$R_2 = 3,1216 \text{ N}$
Reakce R_3 :	$R_3 = 6,323 \text{ N}$

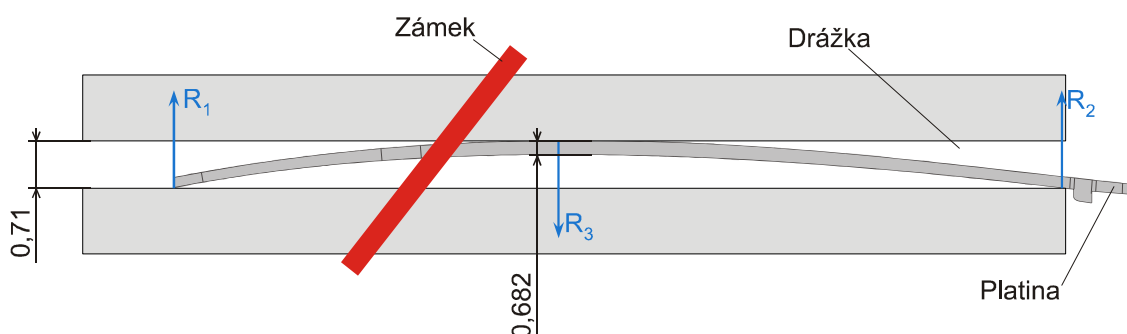
4.2.2 Konstanta tuhosti C

Pro výpočet pohybové rovnice bylo třeba určit konstantu tuhosti C soustavy zámek - platina. Jak je uvedeno výše, její hodnota byla pro náš případ stanovena na $C = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ N.m}^{-1}$. Konstanta tuhosti charakterizuje celý systém zámek - platina. Je tedy

patrné, že její přesnou hodnotu nemůžeme určit, protože je ovlivněna mnoha parametry.

4.2.3 Reakce R_1 , R_2 , R_3

Velikost reakcí R_1 , R_2 a R_3 byla uvažována pro případ nejmenší možné vůle mezi drážkou jehelního válce a platinou, tedy pro případ, který je z hlediska velikosti reakcí nejnejpříznivější. Nominální rozměr drážky je $0,71^{+0,03} \text{ mm}$ a u platiny je to $0,67^{\pm 0,012} \text{ mm}$. Z toho plyne, že nejmenší vůle je $0,028 \text{ mm}$. Pro tuto hodnotu vůle mají reakce hodnotou $R_1 = 3,2014 \text{ N}$, $R_2 = 3,1216 \text{ N}$, $R_3 = 6,323 \text{ N}$. [6]. Schéma uložení platiny v drážce stroje s uvedením rozměrů pro nejmenší možnou vůli je patrné z obrázku 4.3.



Obr. 4.3 – Konstrukční schéma uložení platiny v drážce stroje

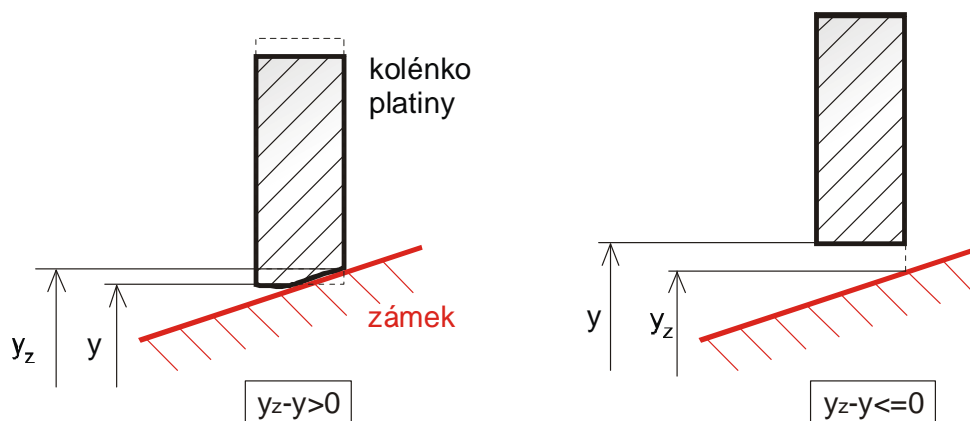
4.2.4 Normálová síla N

Velikost normálové síly N se vypočte jako:

$$N = \frac{C(y_z - y)}{\cos \alpha} \quad (4.26)$$

Rozdíl drah $y_z - y$ i úhel α se samozřejmě při průchodu platin zámek mění. Mohou zde navíc nastat dva stavy styku platiny a zámku viz obr. 4.4. V prvním případě je kolénko platiny zatlačováno do zámku ($y_z - y > 0$). Pokud je splněna tato podmínka, do vzorce 4.26 za hodnotu $y_z - y$ dosazujeme $y_z - y$. Druhý případ nastane, když kolénko platiny od zámku odskočí ($y_z - y \leq 0$). V tu chvíli nedochází ke vzájemnému styku a tudíž nemůže být vyvozena žádná normálová síla N . Za hodnotu $y_z - y$ tedy

dosadíme 0. Tato skutečnost byla zohledněna i při tvorbě modelu v programu MATLAB/Simulink. Způsob jejího řešení v modelu bude popsán v kapitole věnující se jeho tvorbě.



Obr. 4.4 - Styk kolénka platiny a zámku

4.2.5 Tlumení

K odvozené diferenciální rovnici byl přičten též člen obsahující tlumení. Tento člen je vyjádřen jako:

$$\frac{k}{m} \left(\dot{y}_z - \dot{y} \right) \quad (4.27)$$

Konstanta k byla odvozena od sinusového průběhu a je dána logaritmickým dekrementem $\Delta = \ln 2$.

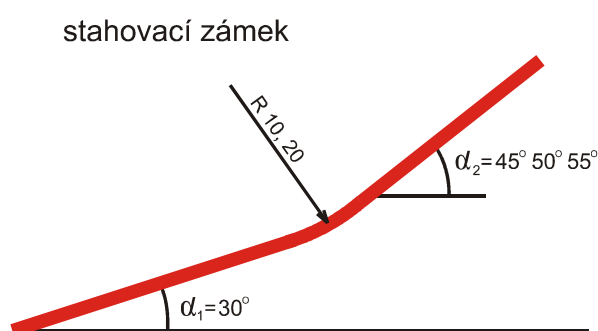
$$k = \frac{\ln 2}{\pi} \cdot m \cdot \sqrt{\frac{C}{m}} = 1,5987 \rightarrow \frac{k}{m} = 1066 \quad (4.28)$$

4.2.6 Koeficient tření

Cílem výpočtu bylo nalézt pro dané geometrie stahovacích zámků mezní součinitel tření f , při kterém dojde ke vzpříčení platiny v drážce. Proto bylo při výpočtu dosazováno pět různých hodnot součinitele tření pro každou geometrii od hodnoty $f=0,1$ až po hodnotu, při níž dojde ke vzpříčení.

4.3 Geometrie stahovacích zámků

Dynamické účinky na platinu byly řešeny pro různé geometrie stahovacích zámků. Úhel sklonu rozběhové části byl uvažován stále stejný tj $\alpha_1=30^\circ$. Pro doběhovou část zámku bylo počítáno se třemi hodnotami sklonu - $\alpha_2=45^\circ, 50^\circ, 55^\circ$. Přejechod mezi rozběhovou a dokončovací částí zámku byl realizován přes radius, jež měl velikost 10, resp. 20 mm. To znamená, že dynamické účinky byly počítány pro celkem šest různých geometrií zámku. Pro lepší představivost a přehlednost je použit převrácený náčrt stahovacího zámku.



Obr. 4.5 – uvažované geometrie stahovacího zámku

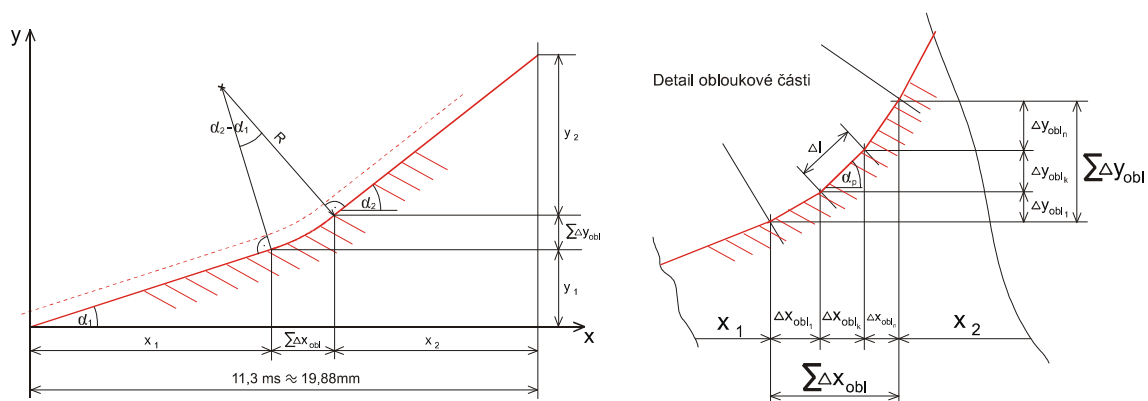
Pro potřeby výpočtu byla oblouková část rozdělena na přímkové části Δl o velikosti 0,1 mm. Tímto se výpočet závislostí zdvihu zámku na čase $y_z = f(t)$ a změny úhlu sklonu zámku na čase $\alpha = f(t)$ (tyto závislosti byly později použity při tvorbě modelu – viz. kapitola 4.4) výrazně zjednodušil, aniž by to mělo vliv na jeho přesnost.

4.3.1 Čas průchodu platiny zámkem

Pro všechny geometrie zámku byl uvažován stejný čas průchodu platiny a to $t = 11,3\text{ms}$. Poměr času průchodu rozběhovou a dokončovací částí zámku byl uvažován 5,9:5,4.

4.3.2 Vztahy popisující geometrii zámku:

Následující vztahy a obr. 4.6 popisují geometrii dráhy platiny po zámku a časové průběhy průchodu platiny jednotlivými částmi zámku.



Obr. 4.6 – Popis geometrie zámku

Délka oblouku: $\hat{l} = R \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)$ (4.29)

Dělení: $q = 0,0001m$ (4.30)

Počet dílků: $p = \frac{\hat{l}}{q} = \frac{R \cdot (\alpha_2 - \alpha_1)}{q}$ (4.31)

Délka jednoho dílku: $\Delta \hat{l} = \frac{\hat{l}}{p} = q = \Delta l$ (4.32)

Přírůstek $\Delta \alpha$: $\Delta \alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{p}$ (4.33)

Obecný úhel α_p : $\alpha_p = \alpha_1 + i \cdot \Delta \alpha$ (4.34)

Průmět jednoho dílku oblouku na osu x: $\Delta x_{obl} = \Delta l \cdot \cos \alpha_p$ (4.35)

Průmět rozběhové části zámku na osu x: $x_1 = \frac{0,01988 - \sum \Delta x_{obl}}{11,3} \cdot 5,9$ (4.36)

Průmět dokončovací části zámku na osu x: $x_2 = 0,01988 - x_1 - \sum \Delta x_{obl}$ (4.37)

Průmět jednoho dílku oblouku na osu y: $\Delta y_{obl} = \Delta l \cdot \sin \alpha_p$ (4.38)

$$\text{Průmět rozběhové části zámku na osu y: } y_1 = x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (4.40)$$

$$\text{Průmět dokončovací části zámku na osu y: } y_2 = x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (4.41)$$

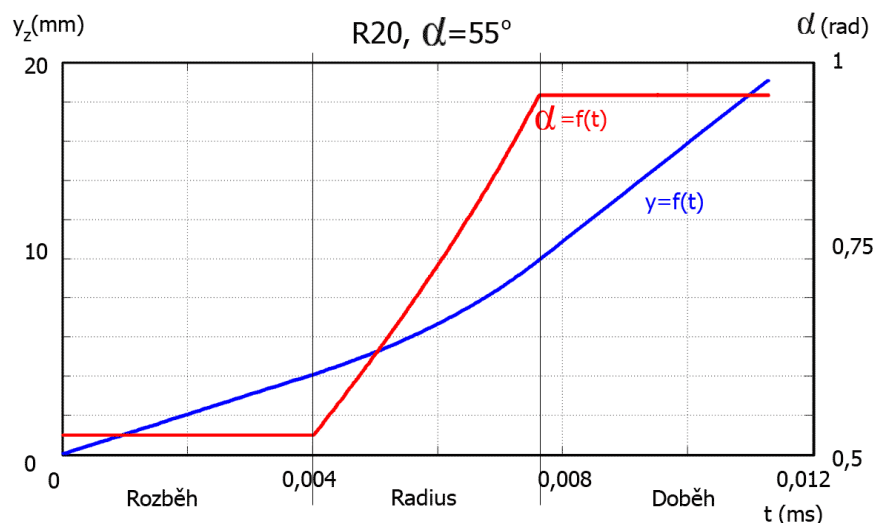
$$\text{Doba průběhu přes jeden dílek: } t_{\Delta x_{obl}} = \frac{2\Delta x_{obl}}{\omega \cdot D} = \frac{2\Delta l \cdot \cos \alpha_p}{\omega \cdot D} \quad (4.42)$$

$$\text{Doba průběhu přes rozběhovou část zámku: } t_{x_1} = \frac{2x_1}{\omega \cdot D} \quad (4.43)$$

$$\text{Doba průběhu přes dokončovací část zámku: } t_{x_2} = \frac{2x_2}{\omega \cdot D} \quad (4.44)$$

4.4. Tvorba vstupních závislostí

Pro výpočet pohybové rovnice bylo třeba určit časové závislosti popisující změnu polohy zámku $y_z = f(t)$ a aktuální úhel sklonu dráhy zámku $\alpha = f(t)$. Dané závislosti, jež poté posloužili jako vstupní data při tvorbě dynamického modelu v programu MATLAB/SIMULINK, byly vytvořeny pomocí vztahů uvedených v kapitole 4.3.2 v programu Microsoft Excel. Příklad takovéto závislosti je patrný z grafu 4.7 znázorňujícím závislosti $y_z = f(t)$ a $\alpha = f(t)$ pro geometrii zámku R20 a $\alpha_2 = 55^\circ$.



Graf 4.7 – Závislosti $y_z = f(t)$ a $\alpha = f(t)$

5. MODEL V PROGRAMU MATLAB/SIMULINK

Cílem této diplomové práce bylo sestavit a vyřešit pohybovou rovnici pro jehlu (platinu) v drážce okrouhlého pletacího stroje a zjistit mez jejího vzpříčení. Výše odvozená pohybová rovnice byla řešena v prostředí programu MATLAB/Simulink. Pomocí bloků ze standardní knihovny Simulinku byl vytvořen dynamický model, jehož výstupem byly požadované kinematické závislosti pro platinu a to:

Zrychlení platiny	$a = f(t)$
Rychlost platiny	$v = f(t)$
Zdvih platiny	$y = f(t)$
Rozdíl zdvihů zámku a platiny	$y_z - y = f(t)$

Model sestaven tak, aby umožňoval snadný zápis všech proměnných vstupních parametrů (součinitel tření f , časová závislost zdvihu zámku $y_z = f(t)$ a časová závislost změny úhlu naklonění zámku $\alpha = f(t)$). Řešení rovnice bylo provedeno metodou snižování řádu (viz kapitola 3.2.1)

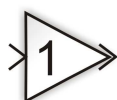
5.1 Bloky použité ke tvorbě modelu:

Constant - zdroj konstantního, časově neměnného signálu



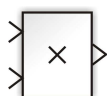
Constant

Gain - vynásobení vstupního signálu konstantou



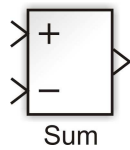
Gain

Product - násobení vstupů prvek po prvku

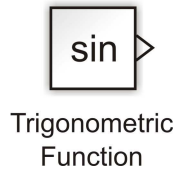


Product

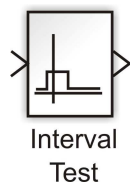
Sum - sčítání/odečítání vstupů. Vstupů může být libovolný počet a znaménka „+“ a „-“, mohou být libovolně kombinována



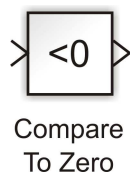
Trigonometric Function - počítá trigonometrické funkce vstupů (sin, cos, tg, cotg)



Interval Test - Nastaví na výstup log.1, pokud hodnota vstupu leží v daném intervalu



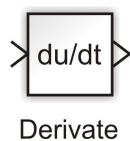
Compare To Zero - Porovnává vstup s hodnotou 0 a nastaví na výstup log.1, resp. log. 0 dle výsledku porovnání



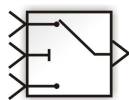
From File - Umožňuje načíst průběh signálu z pracovního prostoru Matlabu či souboru na disku



Derivate - Derivuje vstup podle času

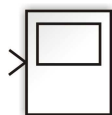


Switch - Porovnává vstupy s řídicím signálem. Při splnění podmínky propouští signál č.1, při nesplnění signál č.2



Switch

Scope - Zobrazení vstupních signálů ve formě časových průběhů



Scope

5.2 Popis sestaveného modelu

Sestavený model je znázorněn na obr. 5.1. Pro snadnou orientaci v modelu sestaveném v Simulinku byly některé bloky (či popisy jednotlivých částí modelu) podbarveny různými barvami:

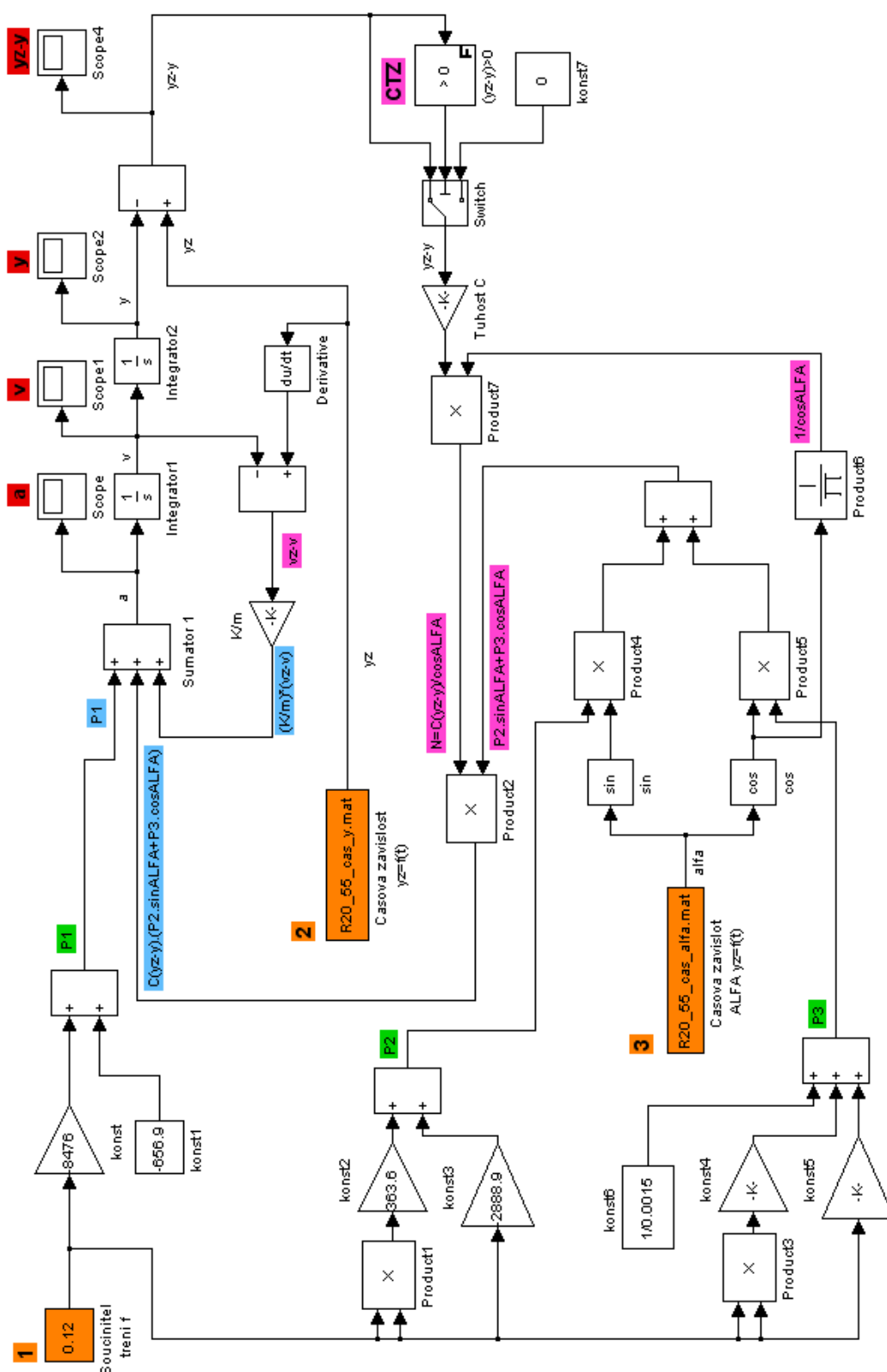
oranžové podbarvení	-	vstupní (proměnná) data
zelené podbarvení	-	vypočtené konstanty P_1 , P_2 , P_3
modré podbarvení	-	jednotlivé části dif. rovnice
fialové podbarvení	-	mezivýsledky
červené podbarvení	-	výsledky

Vypočtená pohybová rovnice podle níž byl model sestavován:

$$\ddot{y} = P_1 + \left[\frac{C(y_z - y)}{\cos \alpha} \right] \cdot [P_2 \cdot \sin \alpha + P_3 \cdot \cos \alpha] + \frac{k}{m} \left(\dot{y}_z - \dot{y} \right) \quad (4.25)$$

Konstanty P_1 , P_2 , P_3 viz. vzorce 4.21, 4.22, 4.23.

Jak již bylo uvedeno výše, oranžově podbarvené bloky nám označují vstupní data výpočtu. Do prvního oranžového bloku se zapisuje hodnota součinitele tření f , do druhého a třetího bloku se vkládají odkazy na zdrojové soubory, jež nám určují časovou závislost zdvihu zámku $y_z = f(t)$ resp. časový průběh úhlu naklonění dráhy zámku



Obr. 5.1 – Sestavený dynamický model v SIMULINKu

$\alpha = f(t)$ při průchodu platiny zámek. Tato zdrojová data jsou jiná pro každou geometrii zámku. V levé části schématu jsou počítány konstanty P_1 , P_2 , P_3 . Konstanta P_1 je jednou ze tří hlavních částí dif. rovnice a vstupuje přímo do *Sumátoru 1*. Konstanta P_2 se po vynásobení $\sin \alpha$ sčítá se součinem $P_3 \cdot \cos \alpha$. Součet $P_2 \cdot \sin \alpha + P_3 \cdot \cos \alpha$ je poté vynásoben časově proměnnou hodnotou normálové síly N , jež se vypočte jako součin tuhosti C a rozdílu drah $y_z - y$ podělený $\cos \alpha$. Tím je určena druhá hlavní část dif. rovnice, jež vstupuje na druhý vstup *Sumátoru 1*. Jak již bylo uvedeno výše, rozdíl drah $y_z - y$ se při průchodu platin zámek mění a navíc platina v určitý okamžik od zámku odskočí. Tato skutečnost je v modelu řešena pomocí bloků *Compare To Zero* (dále CTZ) a *Switch*.

Pokud nastane stav, kdy je $y_z - y > 0$ (platina je zatlačována do zámku), znamená to, že na výstupu z bloku CTZ dostaneme log. „1“. Blok *Switch* je nastaven tak, že při příchodu hodnoty „1“ je splněna vstupní podmínka a tudíž na výstup z bloku putuje *signál č. 1*, což je v tomto případě hodnota $y_z - y$. Jakmile platí $y_z - y \leq 0$, tedy stav, kdy platina odskočí od zámku, na výstupu z CTZ dostaneme log. „0“. U bloku *Switch* je tedy vstupní podmínka nesplněna a na výstup z něj tedy přijde *signál č. 2* neboli hodnota „0“. Výstupní hodnota ze *Switche* je poté přenásobena tuhostí C a podělena $\cos \alpha$ a tím dostáváme časově proměnnou hodnotu normálové síly N .

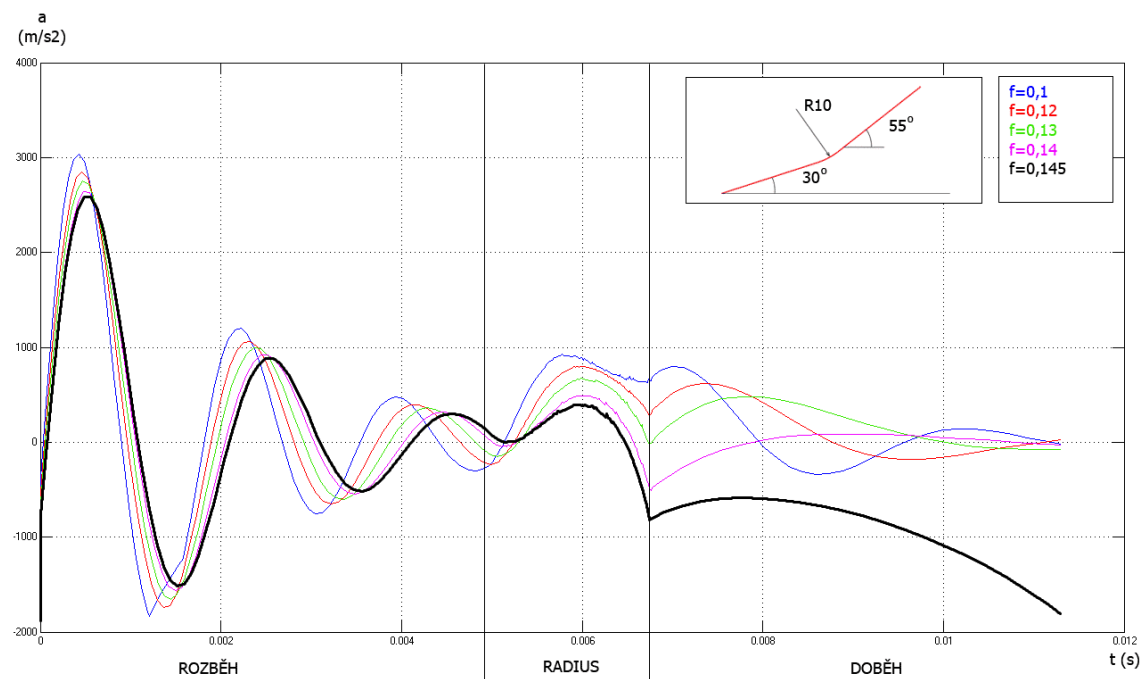
Jako třetí část rovnice je přičten člen obsahující tlumení. Nejprve je pomocí bloku *Derivate* derivována hodnota zdvihu zámku y_z na rychlost \dot{y}_z , od které je odečtena vypočtená rychlost platiny \dot{y} . Po vynásobení rozdílu $\dot{y}_z - \dot{y}$ podílem K/m je daný signál přiveden na třetí vstup *Sumátoru 1*.

5.3 Průběhy kinematických závislostí

Pro všech šest geometrií byly pomocí modelu získány grafy výše zmíněných kinematických závislostí. Pro snadné porovnání výsledků byly vždy do jednoho grafu zakresleny průběhy pro všechny uvažované součinitele tření f . Jednotlivé průběhy byly barevně odlišeny. Na vodorovnou osu grafů byl vynášen čas v sekundách. Pro přehlednost je v grafech naznačeno rozdělení zámku do tří oblastí – rozběhové části, rádiusu a doběhové části. V této kapitole jsou uvedeny kinematické závislosti pro

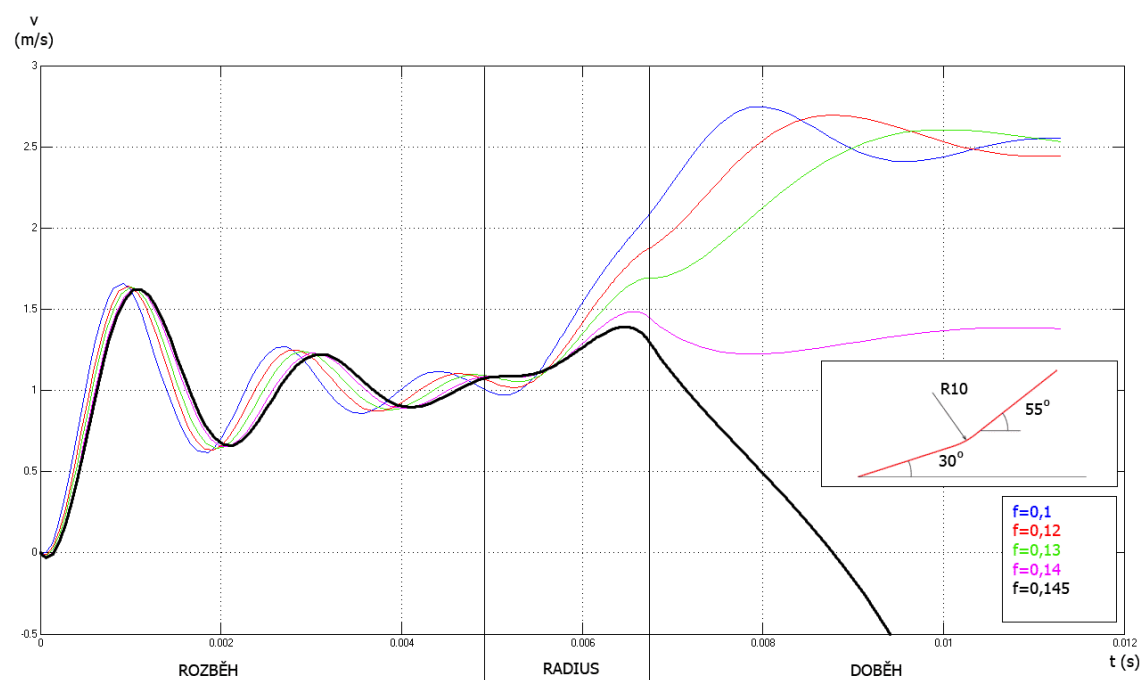
zámek s přechodovým rádiusem $R10$ a úhlem stoupání doběhové části $\alpha = 55^\circ$. Grafy pro ostatní geometrie zámku se nacházejí v přílohách I, II a III.

Zrychlení platiny



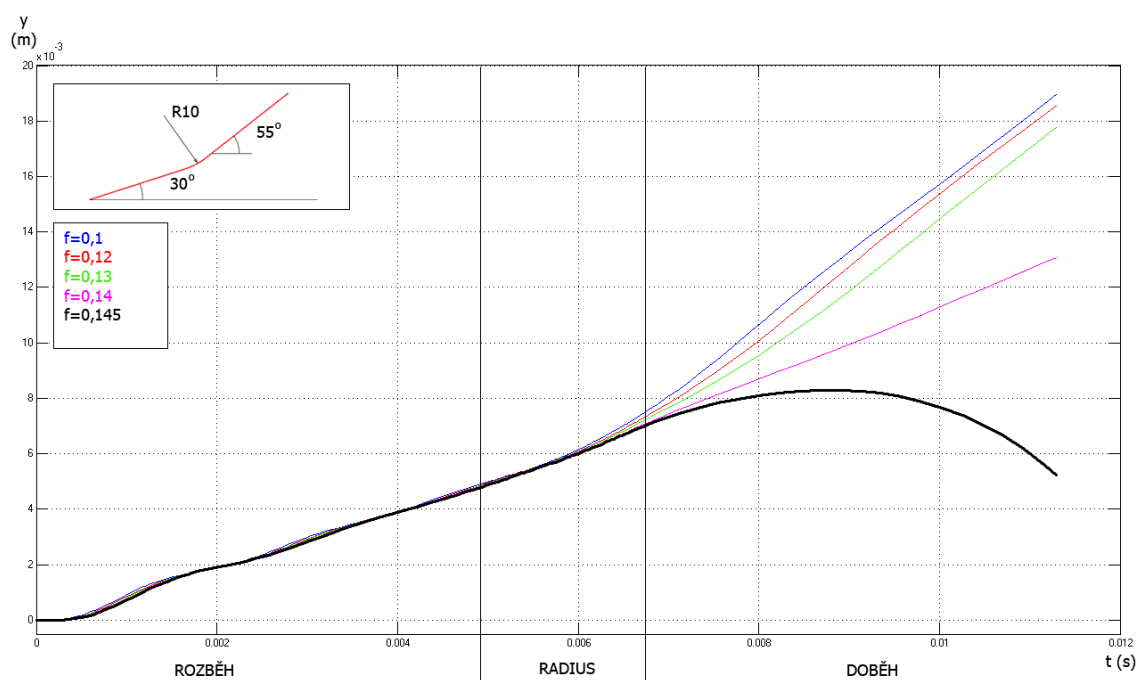
Graf 5.1 – Závislost zrychlení platiny na čase

Rychlost platiny



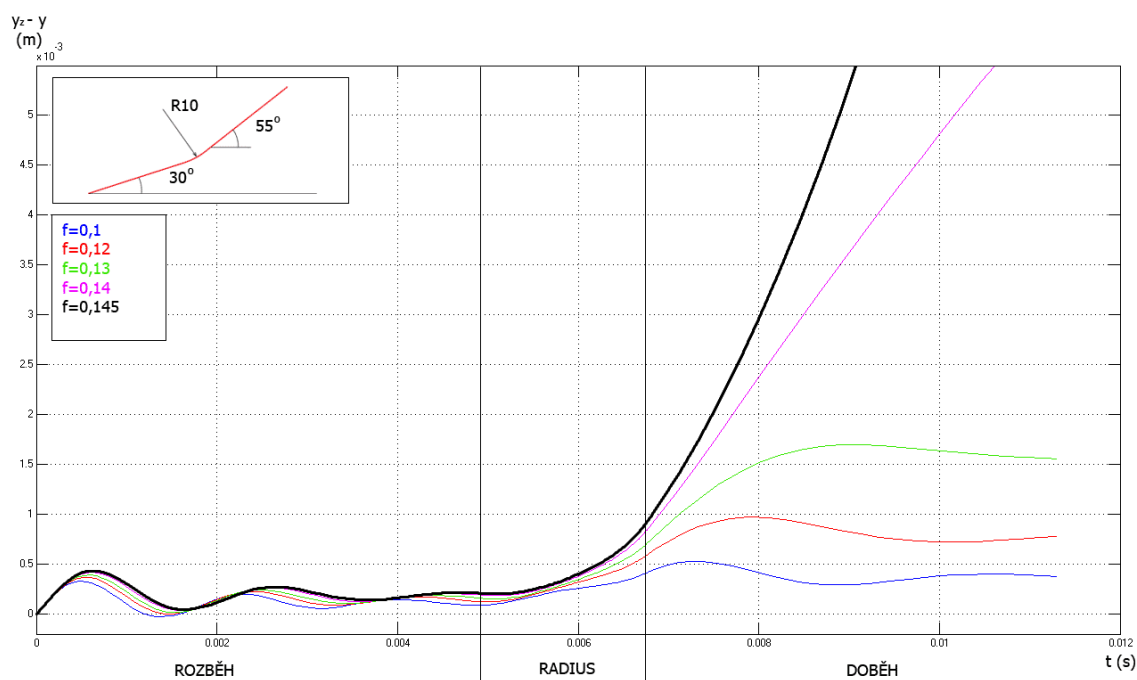
Graf 5.2 – Závislost rychlosti platiny na čase

Zdvih platiny



Graf 5.3 – Závislost zdvihu platiny na čase

Rozdíl zdvihů zámku a platiny



Graf 5.4 – Závislost rozdílu zdvihů zámku a platiny na čase

5.4 Výsledky simulace modelu

Pomocí simulace modelu jsme kromě daných kinematických závislostí zjistili též meze vzpříčení platiny v drážce pro jednotlivé geometrie zámků. Se stoupajícím úhlem doběhové části zámku (45° , 50° , 55°) docházelo ke vzpříčení platiny při stále menší hodnotě smykového tření f . Vyrůstající velikost rádiusu při přechodu z rozběhové do doběhové části zámku nám pozitivně ovlivnila velikost maximálního zrychlení a rychlosti v doběhové části zámku. Pro rádius $R20$ byly tyto hodnoty podstatně menší než pro rádius $R10$. Největší rozdíl je patrný u koeficientu tření $f=0,1$. S růstem tohoto koeficientu se postupně rozdíl daných maxim zmenšoval.

Všechny uvažované geometrie zámku mají stejný úhel stoupání rozběhové části $\alpha = 30^\circ$, je tedy logické, že průběh kinematických veličin v této části je pro všechny geometrie stejný. Maximální hodnota zrychlení je zde 3050 m/s^2 , maximální hodnota rychlosti je $1,65 \text{ m/s}$ a to pro koeficient tření $f=0,1$. S rostoucí hodnotou koeficientu f maximální hodnoty zrychlení a rychlosti postupně klesaly. Přehled těchto hodnot pro rozběhovou část zámku je patrný z tabulky 5.1.

koef.tření f	0,1	0,12	0,13	0,14	0,145	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
a max (m/s ²)	3050	2850	2750	2650	2600	2550	2340	2300	2200	2150
v max (m/s)	1,65	1,64	1,635	1,63	1,627	1,625	1,62	1,615	1,61	1,58

Tabulka 5.1 – Max. hodnoty zrychlení a rychlosti na rozběhové části zámku

Při malé hodnotě součinitele tření f (do $f=0,13$) dojde v rozběhové části zámku k odskoku platiny od zámku. Tento odskok nastane, je-li $y_z - y \leq 0$. Pro $f=0,1$ má odskok maximální hodnotu $0,04 \text{ mm}$ a trvá $0,47 \text{ ms}$. Při hodnotě $f=0,12$ je odskok $0,016 \text{ mm}$ po dobu $0,28 \text{ ms}$. A konečně při $f=0,13$ je už odskok velmi nepatrný – $0,0022 \text{ mm}$ po $0,1 \text{ ms}$.

5.4.1 Zámek s úhlem stoupání doběhové části 45°

U této geometrie došlo ke vzpříčení platiny při koeficientu tření $f=0,19$. Maximální hodnota zrychlení v doběhové části byla 700 m/s^2 při rádiusu $R10$ resp. 375 m/s^2 pro rádius $R20$. Maximální dosažená rychlost byla $1,95 \text{ m/s}$ pro $R10$ a $1,85 \text{ m/s}$ pro

R20. Maximální hodnoty zrychlení a rychlosti pro všechny uvažované hodnoty f ukazuje tabulka 5.2. Průběhy kinematických veličin se nacházejí v příloze I.

f	R10 / 30 - 45 st.				R20 / 30 - 45 st.			
	30 st.		45 st.		30 st.		45 st.	
	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)
0,1	3050	1,65	700	1,95	3050	1,65	375	1,85
0,15	2550	1,625	650	1,97	2550	1,625	390	1,875
0,17	2300	1,615	550	1,92	2300	1,615	450	1,89
0,18	2200	1,61	400	1,65	2200	1,61	350	1,575
0,19	2150	1,58	/	/	2150	1,58	/	/

Tabulka 5.2 – Max. hodnoty zrychlení a rychlosti pro zámek s úhlem stoupání
doběhové části 45°

5.4.2 Zámek s úhlem stoupání doběhové části 50°

Při použití zámku s doběhovou částí skloněnou pod úhlem 50° došlo ke vzpříčení při hodnotě koeficientu tření $f=0,17$. Maximální hodnoty zrychlení a rychlosti jsou uvedeny v tabulce 5.3. Průběhy kinematických veličin se nacházejí v příloze II.

f	R10 / 30 - 50 st.				R20 / 30 - 50 st.			
	30 st.		50 st.		30 st.		50 st.	
	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)
0,1	3050	1,65	750	2,3	3050	1,65	520	2,25
0,13	2750	1,635	700	2,31	2750	1,635	450	2,23
0,15	2550	1,625	550	2,2	2550	1,625	400	2,2
0,16	2400	1,62	250	1,95	2400	1,62	200	1,35
0,17	2300	1,615	/	/	2300	1,615	/	/

Tabulka 5.2 – Max. hodnoty zrychlení a rychlosti pro zámek s úhlem stoupání
doběhové části 50°

5.4.3 Zámek s úhlem stoupání doběhové části 55°

U tohoto zámku došlo ke vzpříčení při hodnotě koeficientu tření $f=0,145$. Kolabování soustavy je patrné již při $f=0,14$. Maximální hodnoty zrychlení a rychlosti jsou uvedeny v tabulce 5.4. Průběhy kinematických veličin se nacházejí v příloze III.

f	R10 / 30 - 55 st.				R20 / 30 - 55 st.			
	30 st.		55 st.		30 st.		55 st.	
	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)	a max (m/s ²)	v max (m/s)
0,1	3050	1,65	800	2,75	3050	1,65	580	2,69
0,12	2850	1,64	600	2,7	2850	1,64	480	2,65
0,13	2750	1,635	500	2,6	2750	1,635	400	2,62
0,14	2650	1,63	100	1,9	2650	1,63	100	1,25
0,145	2600	1,627	/	/	2600	1,627	/	/

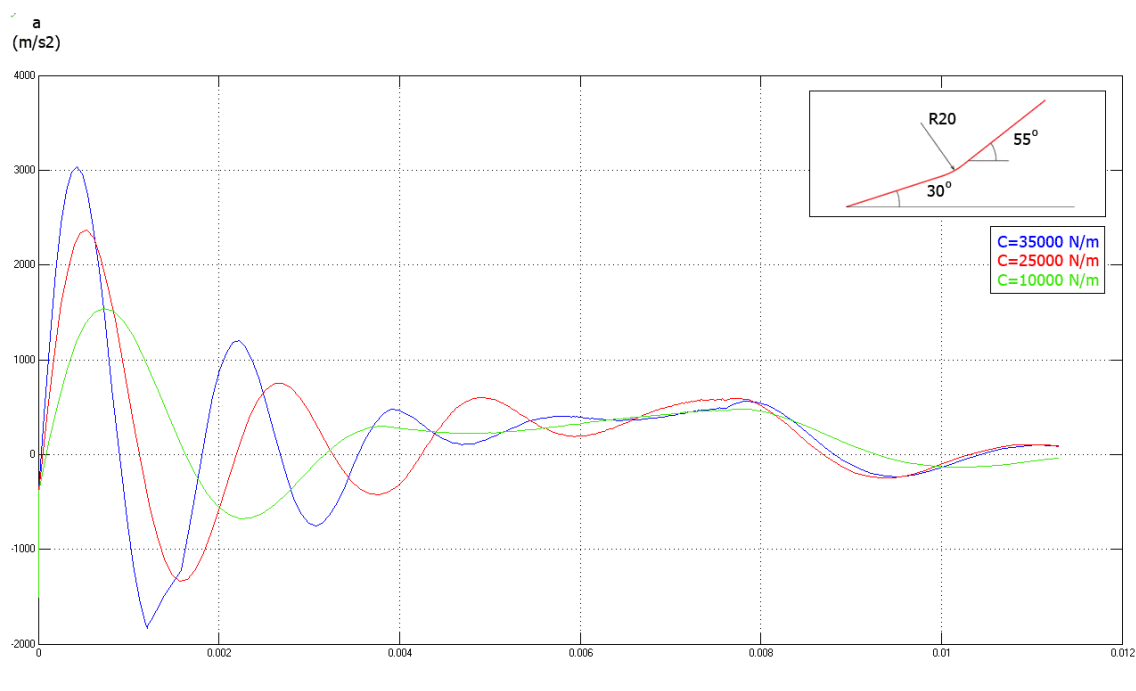
Tabulka 5.4 – Max. hodnoty zrychlení a rychlosti pro zámek s úhlem stoupání
doběhové části 55°

5.5 Vliv konstanty tuhosti na průběh kinematických veličin

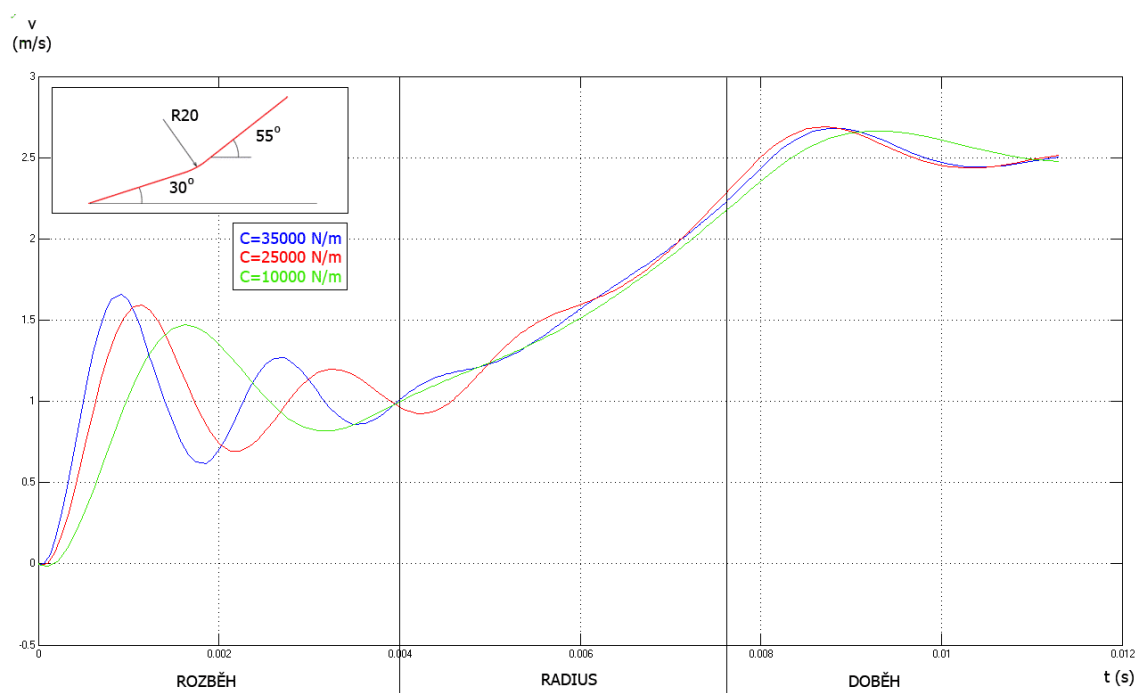
Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.2.2, je určení konstanty tuhosti soustavy zámek-platina značně složitou záležitostí. Konstanta má vliv na velikost normálové síly N a tím i na kinematické veličiny soustavy. Pro srovnání byly pro hodnotu součinitele tření $f=0,1$ pomocí matematického modelu v SIMULINKu vypočteny též kinematické závislosti pro tuhosti $C=2,5 \cdot 10^{-4} \text{ N.m}^{-1}$ a $C=1 \cdot 10^{-4} \text{ N.m}^{-1}$. Výpočet byl proveden pro geometrii se stoupáním doběhové části zámku $\alpha_2 = 55^\circ$ a přechodový oblouk o poloměru $R20$. Jak je patrné z tabulky 5.5, při snižující se konstantě tuhosti dochází k poklesu maximálního zrychlení i rychlosti při nájezdu platiny na zámek. V doběhové části zámku jsou již rozdíly velmi malé. Oproti tomu rozdíl zdvihů zámku a platiny se s klesající tuhostí soustavy pochopitelně zvyšuje.

	Konstanta tuhosti					
	3,5x10-4		2,5x10-4		1x10-4	
	30 st.	55 st.	30 st.	55 st.	30 st.	55 st.
a (m/s ²)	3050	580	2350	600	1550	500
v (m/s)	1,65	2,69	1,6	2,7	1,47	2,65
yz-y (mm)	0,3	0,29	0,42	0,5	0,65	0,94

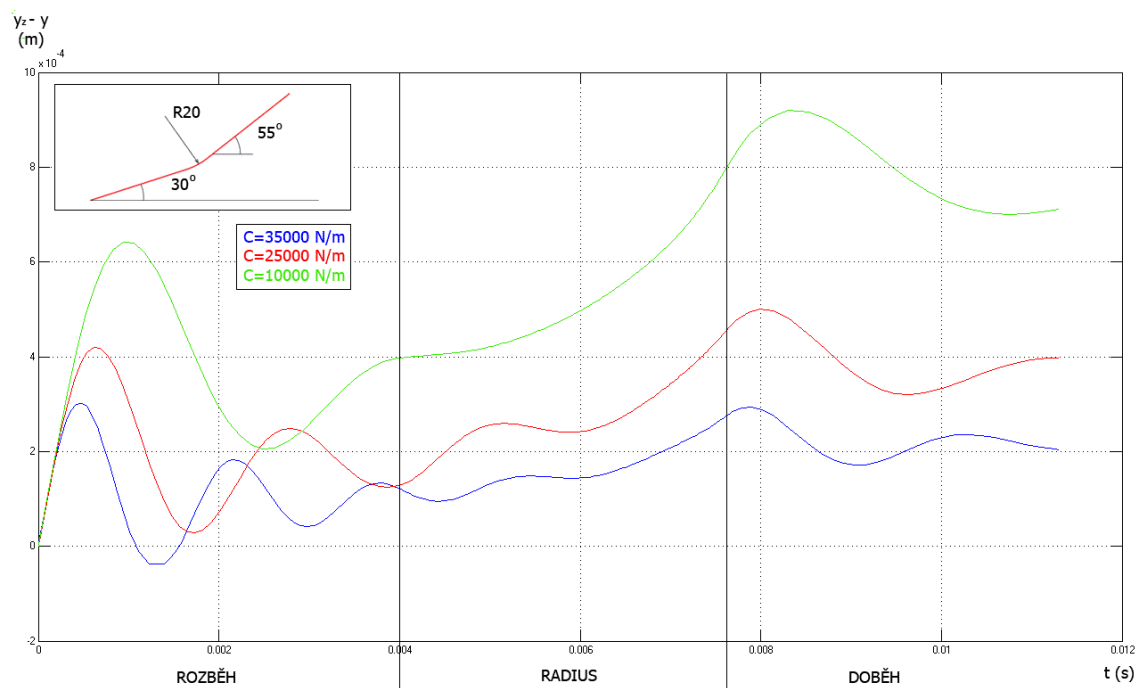
Tabulka 5.5 – Max. hodnoty zrychlení, rychlosti a rozdílu zdvihů pro zámek s úhlem stoupání doběhové části 55° a přechodovým rádiusem R20 pro různé konstanty tuhosti soustavy



Graf 5.5 – Vliv konstanty tuhosti na zrychlení platiny



Graf 5.6 – Vliv konstanty tuhosti na rychlost platiny



Graf 5.7 – Vliv konstanty tuhosti na rozdíl zdvihů zámku a platiny

6. POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH HODNOT S EXPERIMENTÁLNĚ ZJIŠTĚNÝMI

Posledním bodem zadání této diplomové práce bylo porovnání vypočtených hodnot s experimentálně naměřenými. Toto měření bylo provedeno v rámci diplomové práce „Experimentální sledování zdvihu jehly na okrouhlém pletacím stroji“ [7]. V této práci bylo provedeno měření zrychlení platiny při zdvihu v drážce. Měření probíhalo při otáčkách stroje 261 ot/min , kdežto výpočet byl proveden pro otáčky 350 ot/min . Naměřené hodnoty zrychlení byly proto přepočteny na vyšší hodnoty otáček.

V uvedené diplomové práci byla zrychlení měřena pro zámky se sklonem 30° , 45° , 50° , 55° . Jednalo se však vždy jednotlivé přímé zámky bez přechodu, kdežto výpočty v této diplomové práci se zabývají zámky s rádisuovým přechodem mezi rozběhovou (30°) a doběhovou (45° , 50° , 55°) částí. Z toho plyne, že vypočtené hodnoty zrychlení při 45° , 50° , 55° jsou díky přechodu z rozběhové části a radiusu mnohem menší. Následující porovnání bylo proto provedeno pouze pro sklon zámku 30° .

Výrazný vliv na výsledky měření měla též konstanta tuhosti C a součinitel tření f . Obě tyto hodnoty se během měření mohou měnit a tudíž výrazně ovlivňovat jeho výsledek. Tabulka 5.6 proto obsahuje porovnání naměřené hodnoty zrychlení s vypočítanými hodnotami pro různé hodnoty tuhosti a koeficientu tření.

Zrychlení platiny (m/s)										
Tuhost (N/m)	koeficient tření									
	0,1	0,12	0,13	0,14	0,145	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
$3,5 \times 10^{-4}$	3050	2850	2750	2650	2600	2550	340	2300	2200	2150
2×10^{-4}	2350	2200	2150	2050	2020	2000	1900	1830	1750	1650
1×10^{-4}	1550	1450	1420	1370	1350	1330	1270	1230	1160	1100
Naměřené zrychlení (m/s)	1107									

Tabulka 5.6 – Porovnání naměřené a vypočtených hodnot zrychlení platiny

Pokud budeme brát v úvahu danou problematiku s přesným určením konstanty tuhosti, lze v tomto porovnání naměřené a vypočtených hodnot zrychlení nalézt jistou shodu.

7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vyšetřit při jaké hodnotě součinitele tření dojde ke vzpříčení platiny v drážce maloprůměrového okrouhlého pletacího stroje a též vyšetřit průběh kinematických veličin platiny při průchodu zámkem. K řešení byl použit software MATLAB/SIMULINK.

V první části diplomové práce byla provedena rešerše okrouhlých pletacích strojů a jeho částí. Součástí rešerše bylo též základní seznámení s tvorbou diferenciálních rovnic v prostředí programu MATLAB/SIMULINK.

Zásadním rozporem při uložení platiny v drážce okrouhlého pletacího stroje jsou rozdílné nároky na součinitel tření. Předpružená platina se o stěny drážky opírá na třech místech a tím je v drážce fixována. Tření mezi platinou a drážkou musí být co možná nejmenší, aby umožňovalo snadný pohyb platiny v drážce, ale dostatečně veliké na to, aby platina v drážce držela a nevypadla.

Při výpočtu byl uvažován zámek se sklonem rozběhové části 30° , radiusovým přechodem mezi rozběhovou a doběhovou částí $R10$, resp. $R20$ a se sklonem doběhové části 45° , 50° , 55° . Celkem tedy 6 geometrií zámku.

Na základě rozboru silového namáhání platiny byla odvozena její pohybová rovnice. Podle této rovnice byl posléze sestaven dynamický model v MATLAB/SIMULINKu. Cílem tvorby modelu byl co možná nejpřesnější popis dané soustavy. Jelikož se rovnice řešila pro šest různých geometrií zámku a pro různé hodnoty součinitele tření, byl model sestaven tak, aby umožňoval snadný zápis všech proměnných vstupních parametrů (součinitel tření f , časová závislost zdvihu zámku $y_z = f(t)$ a časová závislost změny úhlu naklonění zámku $\alpha = f(t)$). Výstupem z modelu byly průběhy kinematických veličin platiny (zrychlení a , rychlost v , zdvih y a rozdíl zdvihů zámku y_z a platiny y). Z těchto průběhů bylo jasné patrné, při jaké hodnotě součinitele tření f došlo ke vzpříčení platiny.

Soustava zámek - platina se sklonem doběhové části zámku 45° zkolabovala až při hodnotě součinitele tření $f=0,19$. S rostoucím sklonem doběhové části docházelo ke kolapsu mnohem dříve. Pro 50° to bylo $f=0,17$ a u 55° dokonce $f=0,145$.

Závěr diplomové práce je věnován porovnání vypočtených hodnot zrychlení s hodnotami získanými měřeními v rámci diplomové práce [7].

Seznam použité literatury

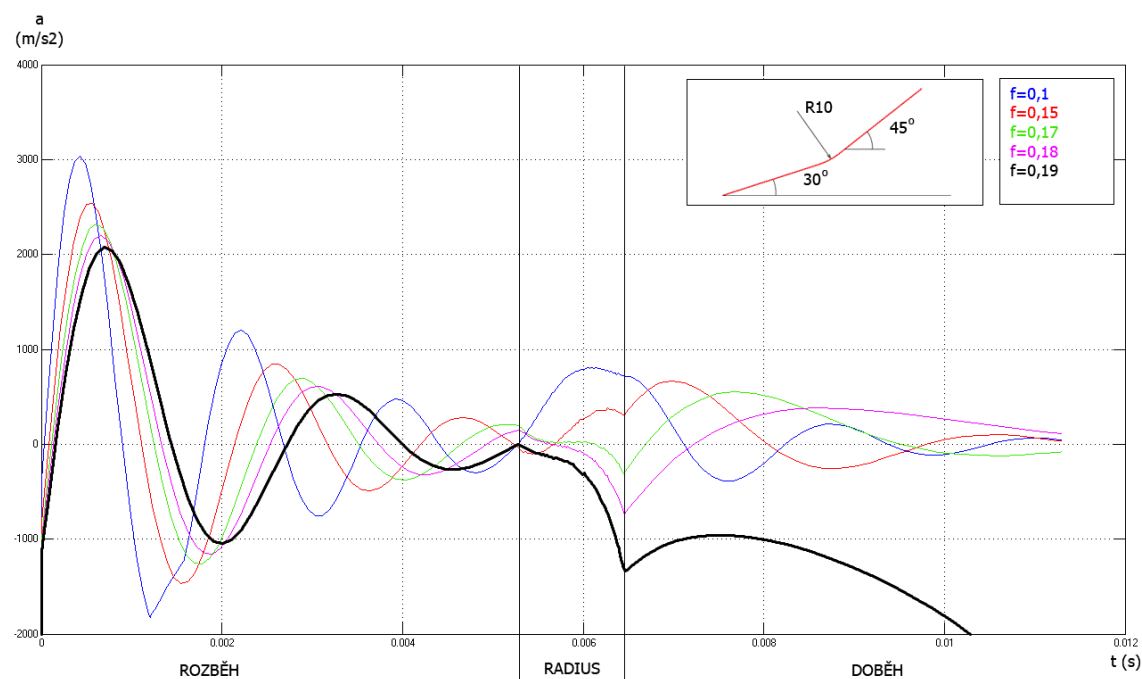
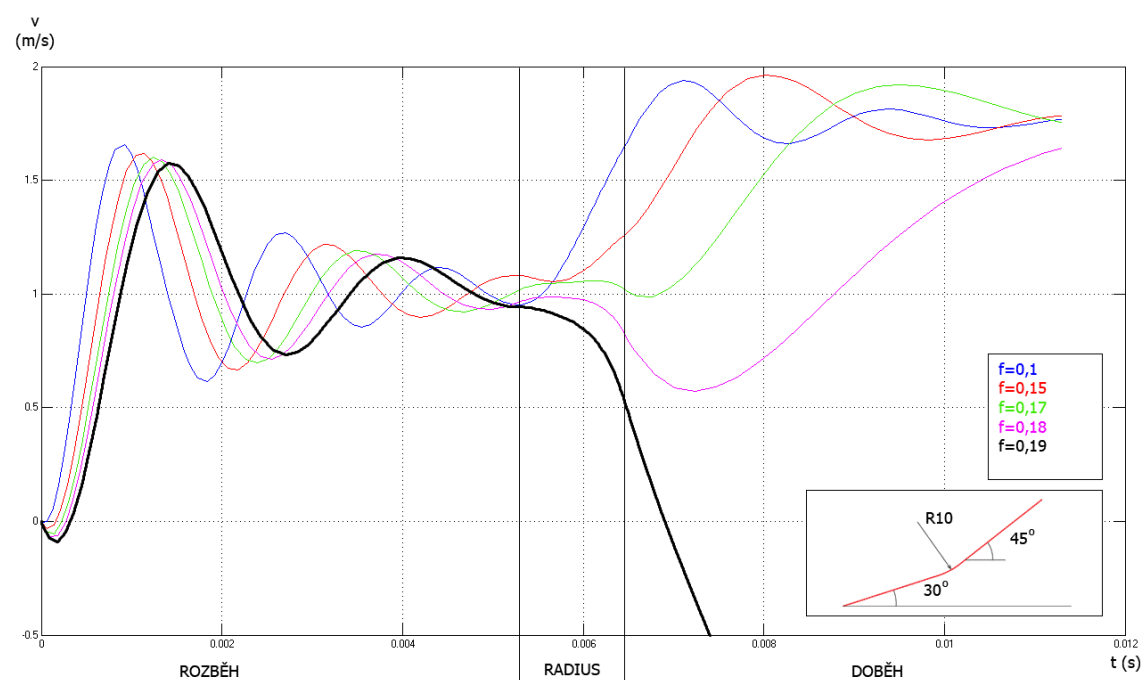
- [1] KOPAL, J.: Pletařské, proplétací a splétací stroje 1. část. Liberec TU 2006.
- [2] KOPAL, J.: Pletařské, proplétací a splétací stroje 2. část. Liberec TU 2007.
- [3] OLEHLA,,: Kybernetika
- [4] DUŠEK, F., HONC, D.: Matlab a Simulink – Úvod do používání
- [5] BÍLEK, M., KOVÁŘ, Š., MRÁZEK, J.: Dynamický model soustavy zámek jehla na maloprůměrovém pletacím stroji, Sborník přednášek konference TRANSFER 2005, Trenčín
- [6] BÍLEK, M., TOMEH, T.: Analýza a optimalizace soustavy zámek – platina – drážka u maloprůměrových pletacích strojů, Sborník přednášek konference STRUTEX 2007
- [7] HEJNA, M.: Experimentální sledování zdvihu jehly na okrouhlém pletacím stroji – diplomová práce

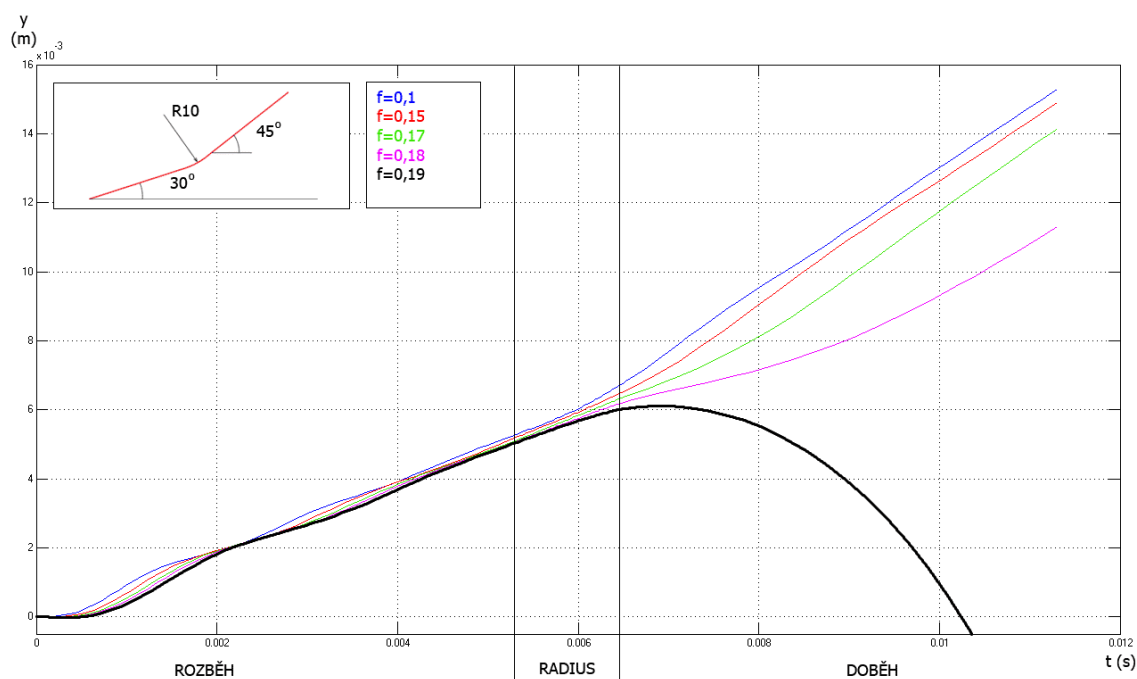
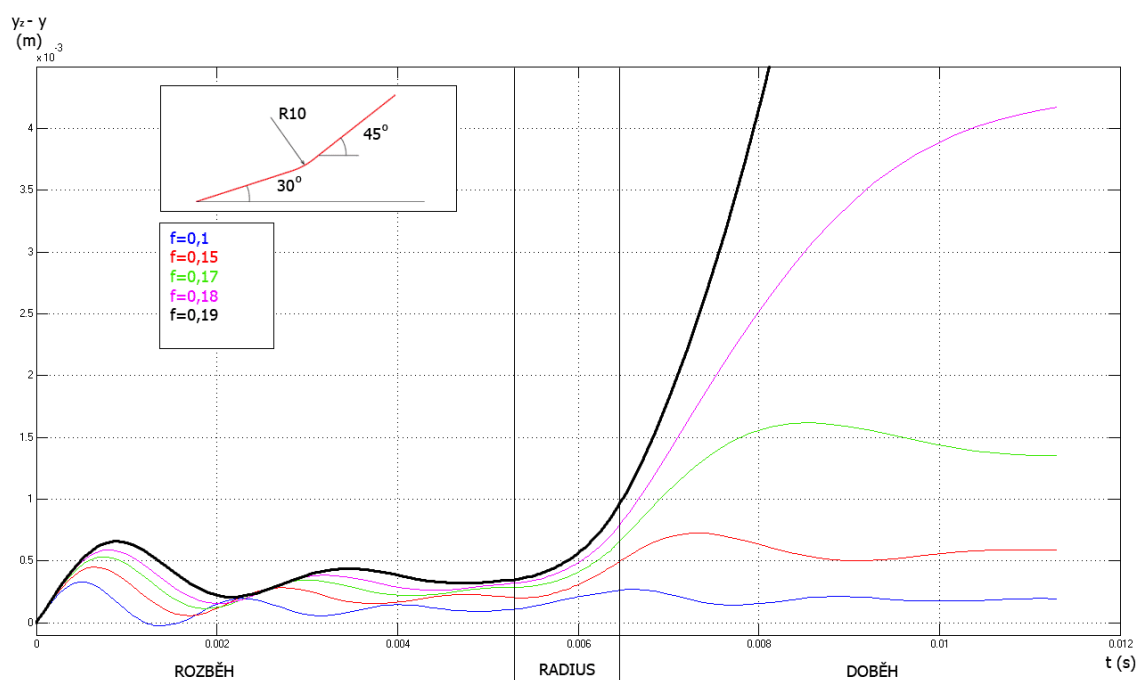
Seznam příloh

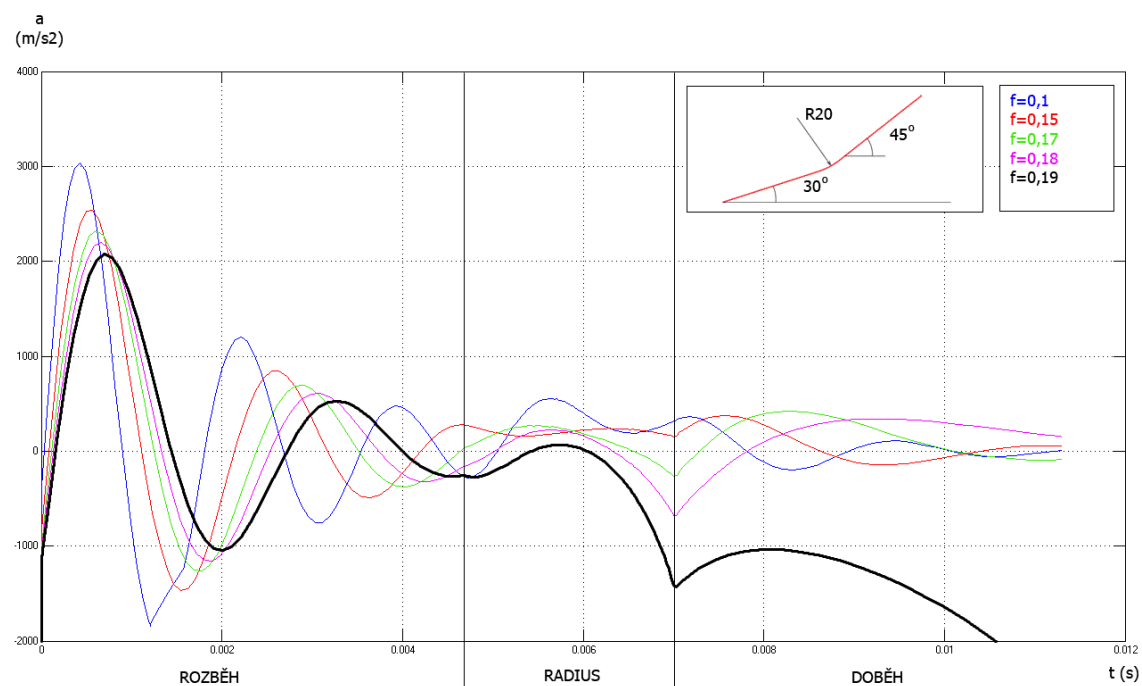
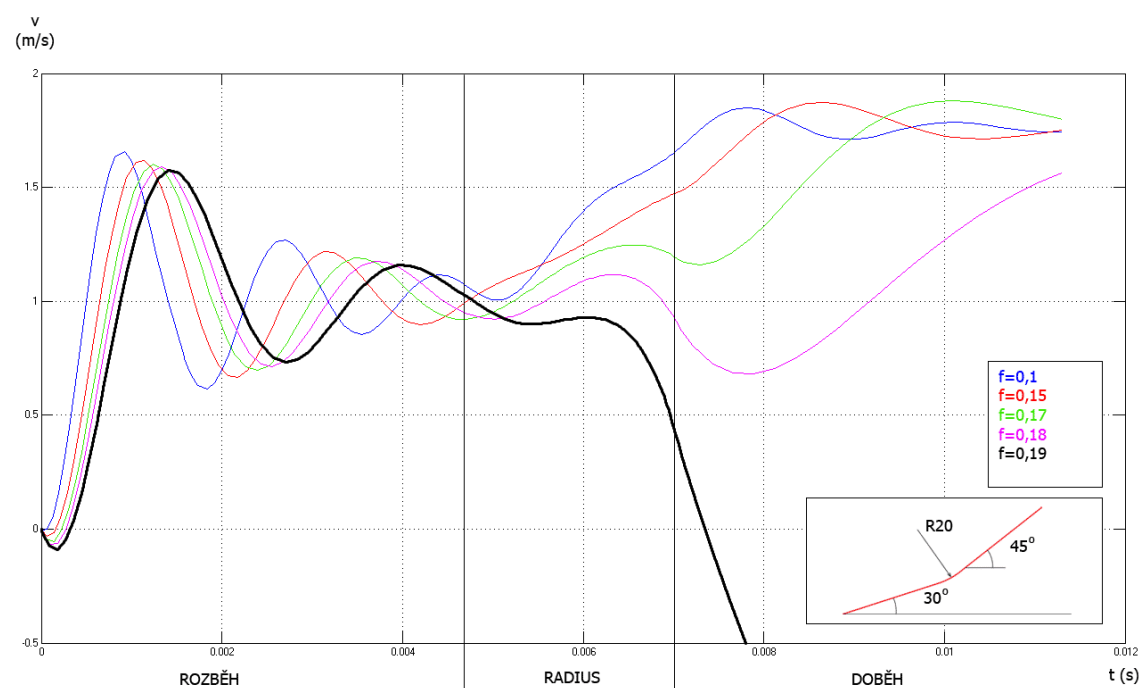
PŘÍLOHA I	Grafy kin. závislostí pro zámek se sklonem doběhové části 45°
PŘÍLOHA II	Grafy kin. závislostí pro zámek se sklonem doběhové části 50°
PŘÍLOHA III	Grafy kin. závislostí pro zámek se sklonem doběhové části 55°

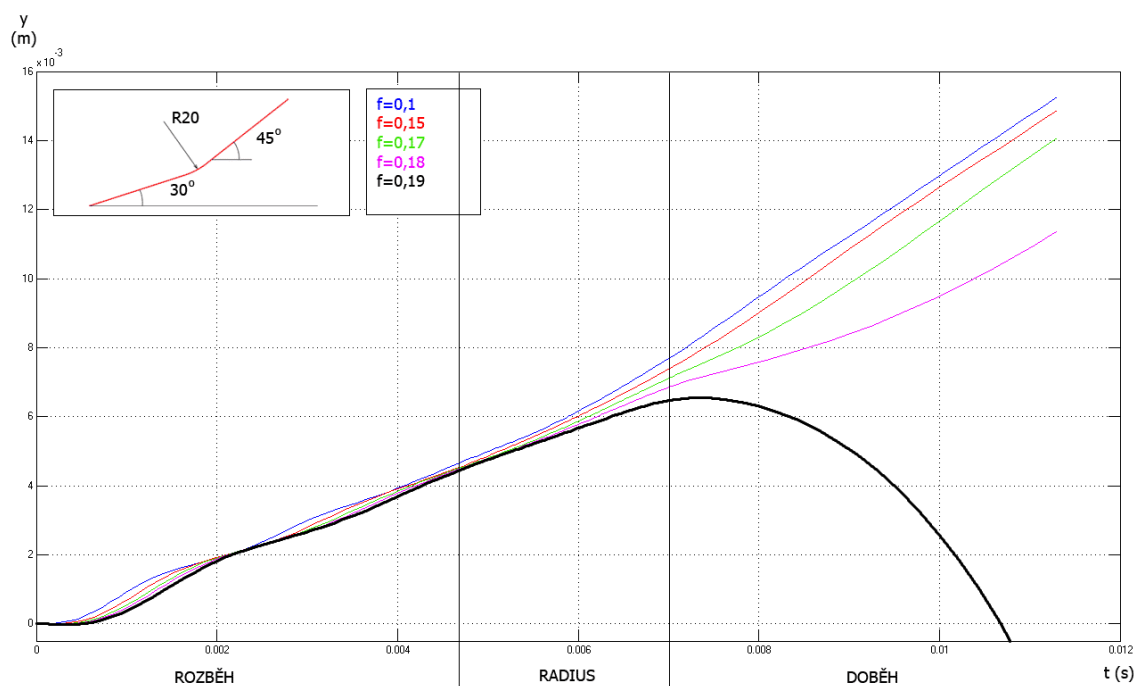
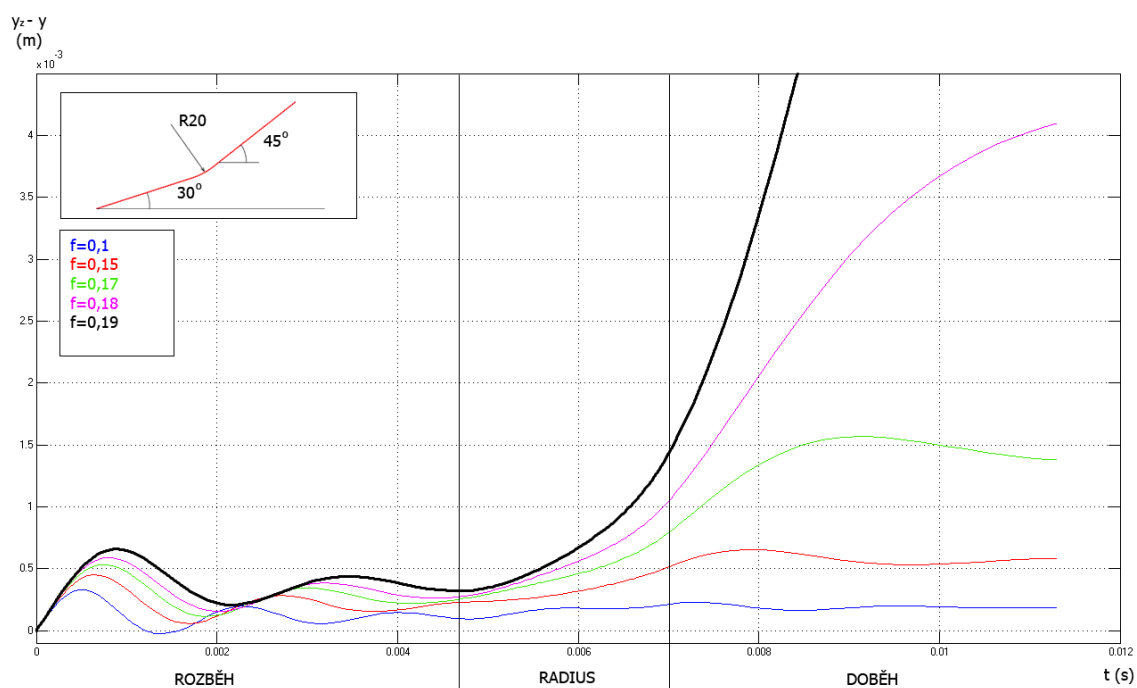
PŘÍLOHA I

**Grafy kinematických závislostí pro zámek se sklonem
doběhové části 45°**

Zrychlení platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=45^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=45^\circ$** 

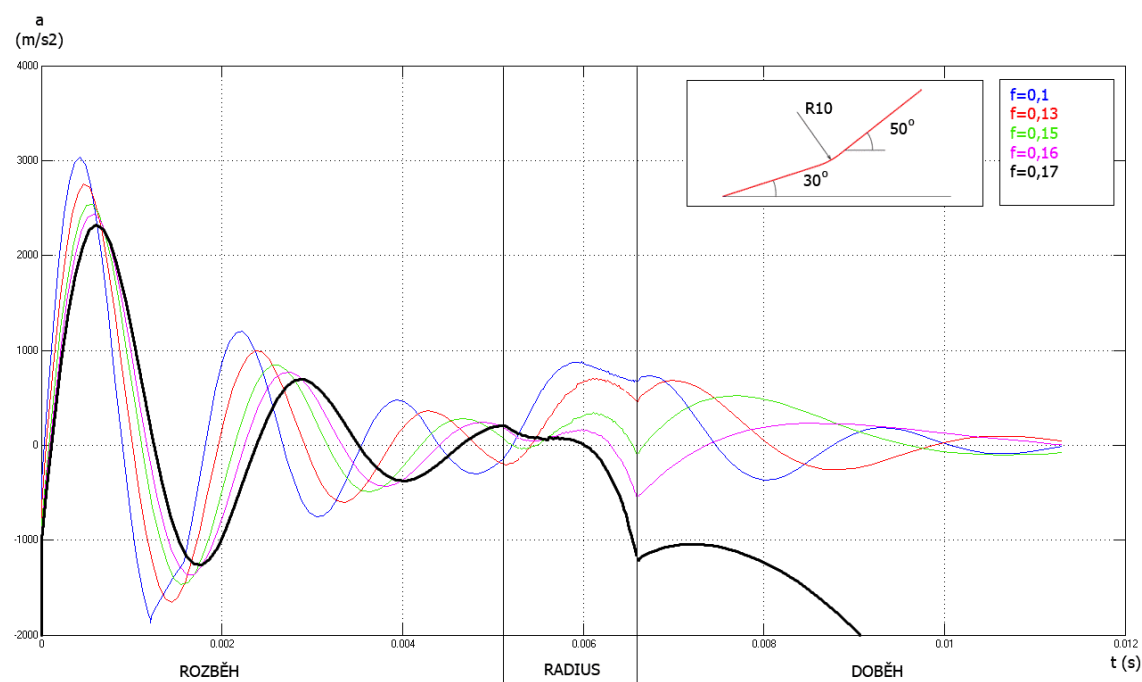
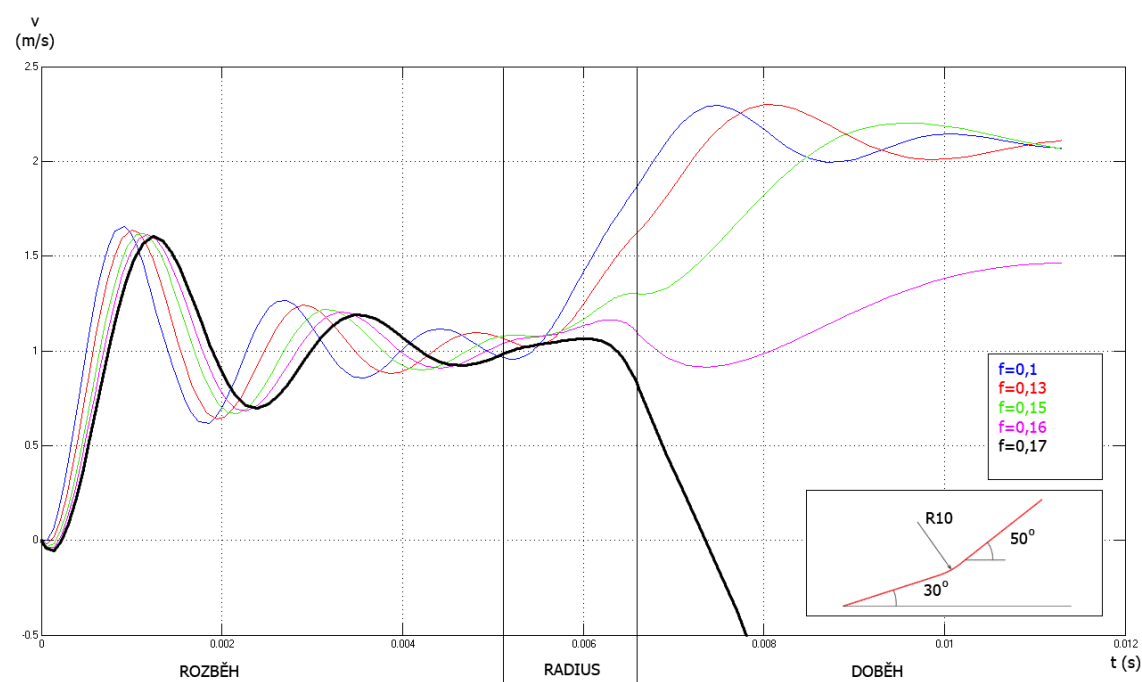
Zdvih platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=45^\circ$ **Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=45^\circ$** 

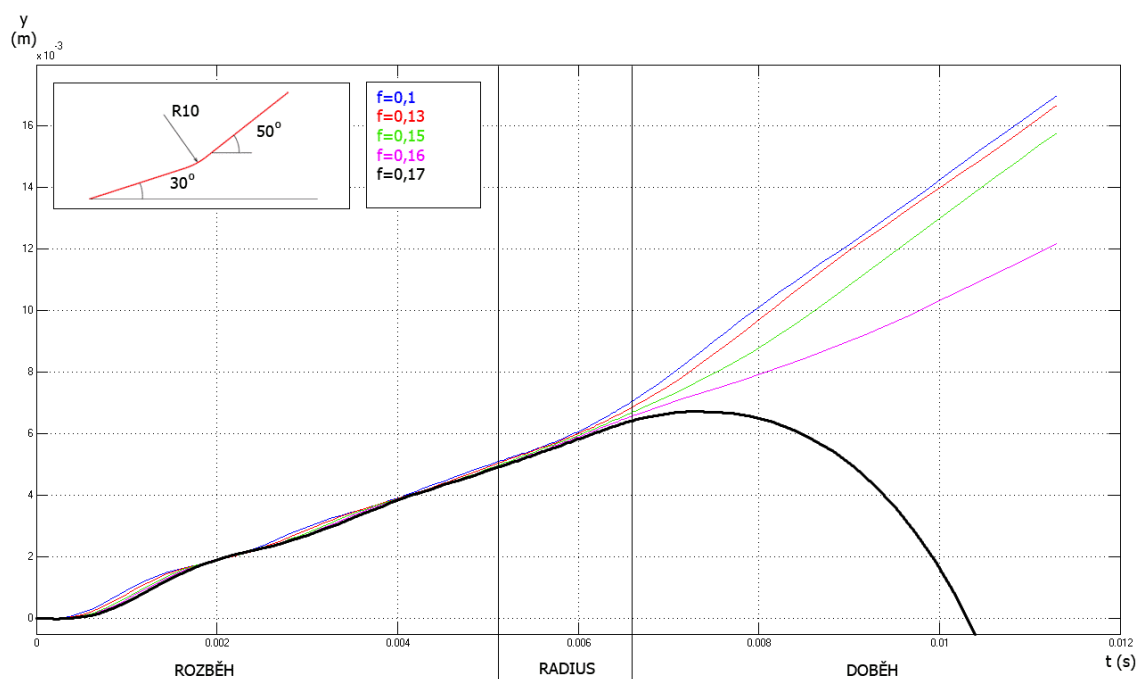
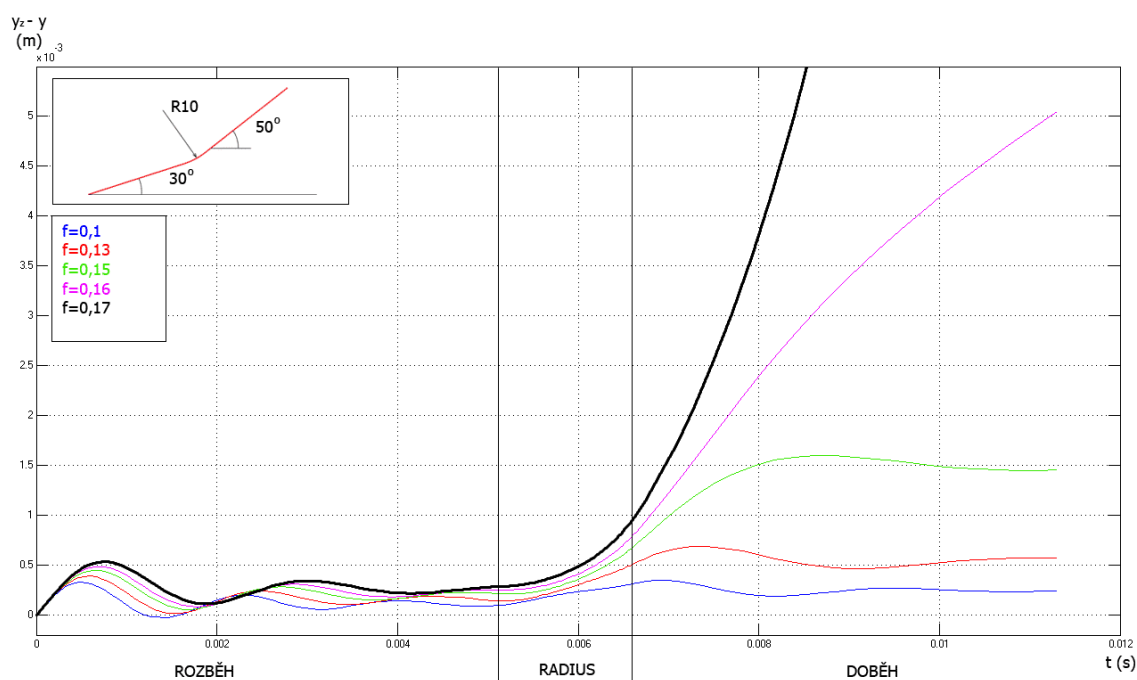
Zrychlení platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=45^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=45^\circ$** 

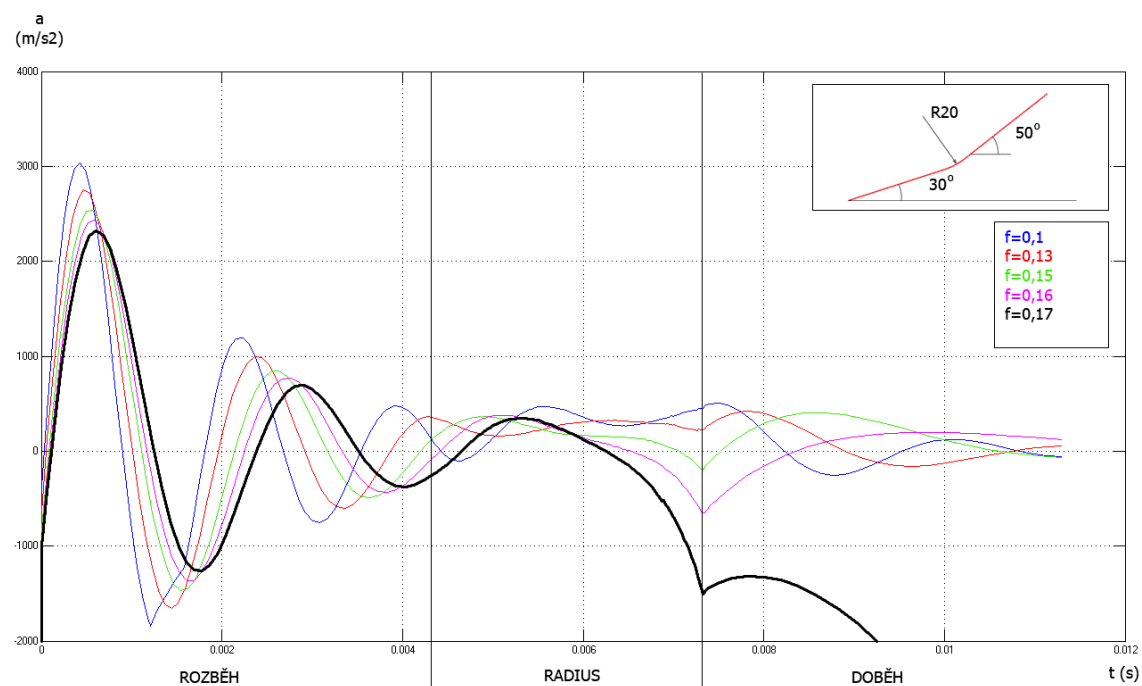
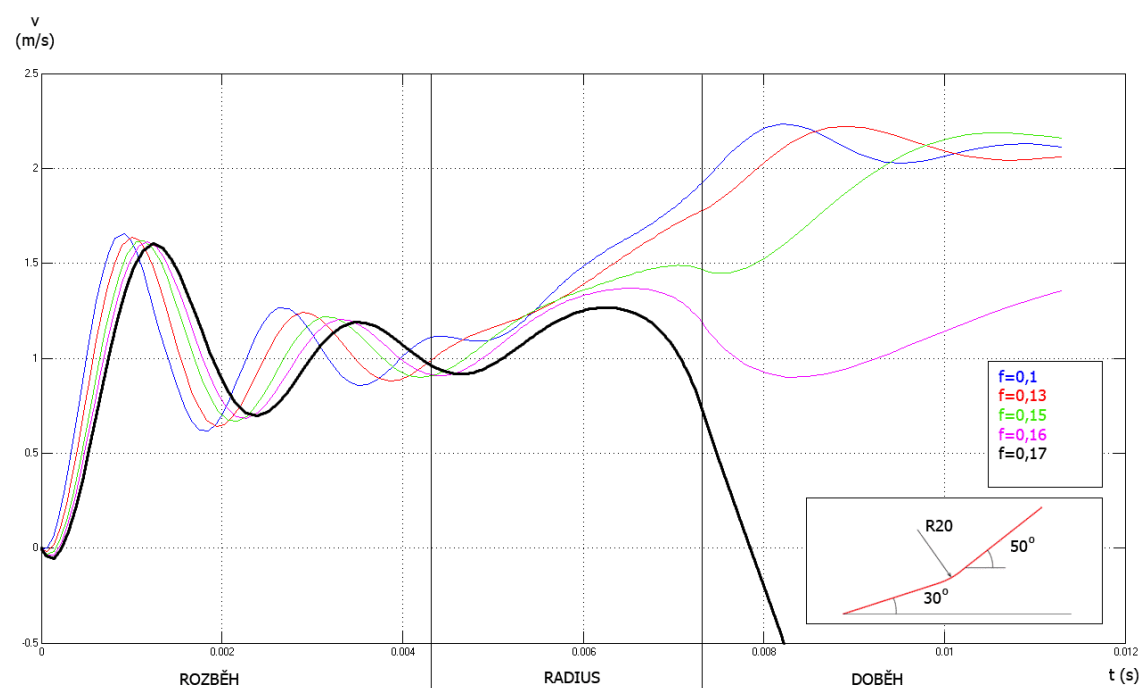
Zdvih platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=45^\circ$ **Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=45^\circ$** 

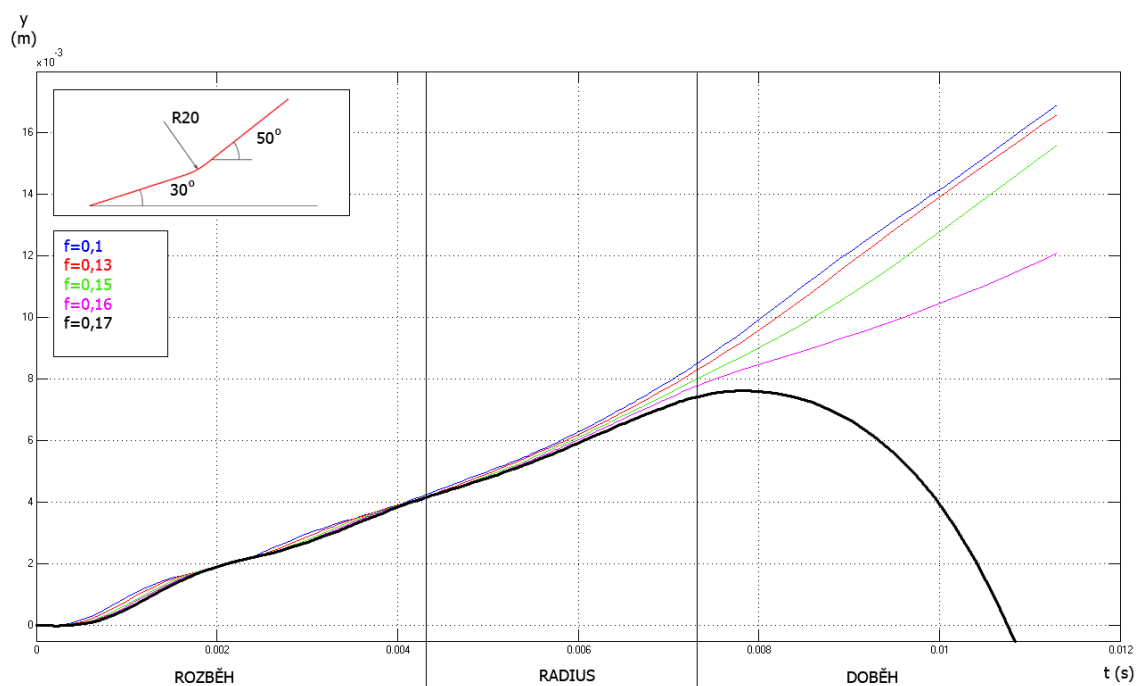
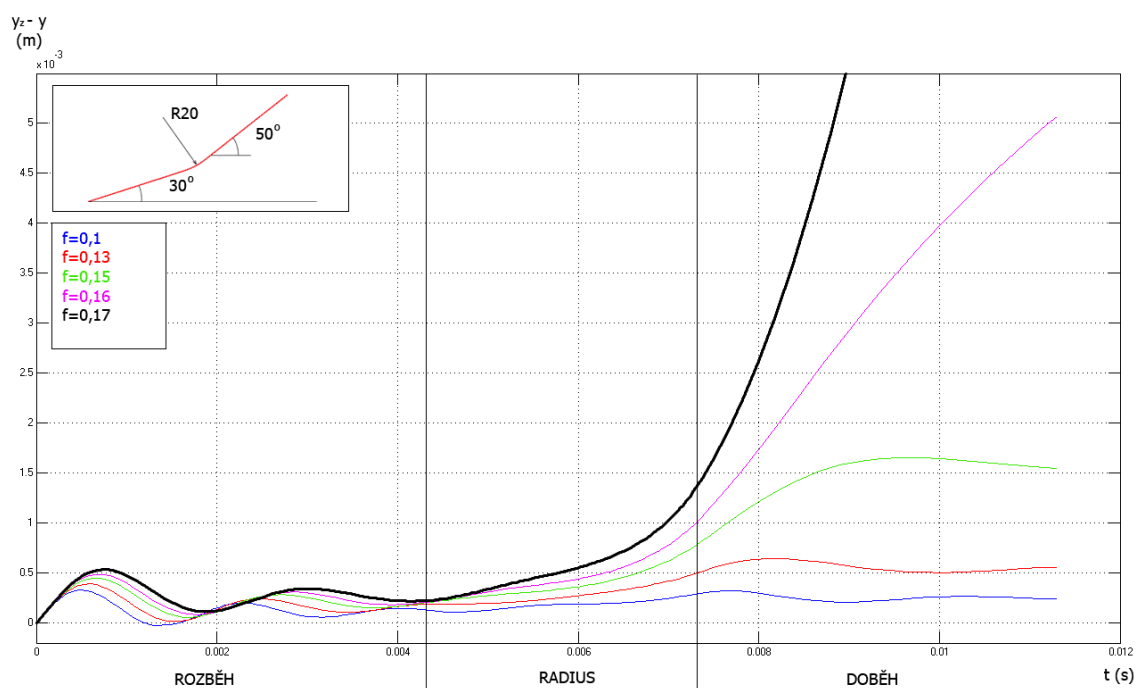
PŘÍLOHA II

**Grafy kinematických závislostí pro zámek se sklonem
doběhové části 50°**

Zrychlení platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=50^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=50^\circ$** 

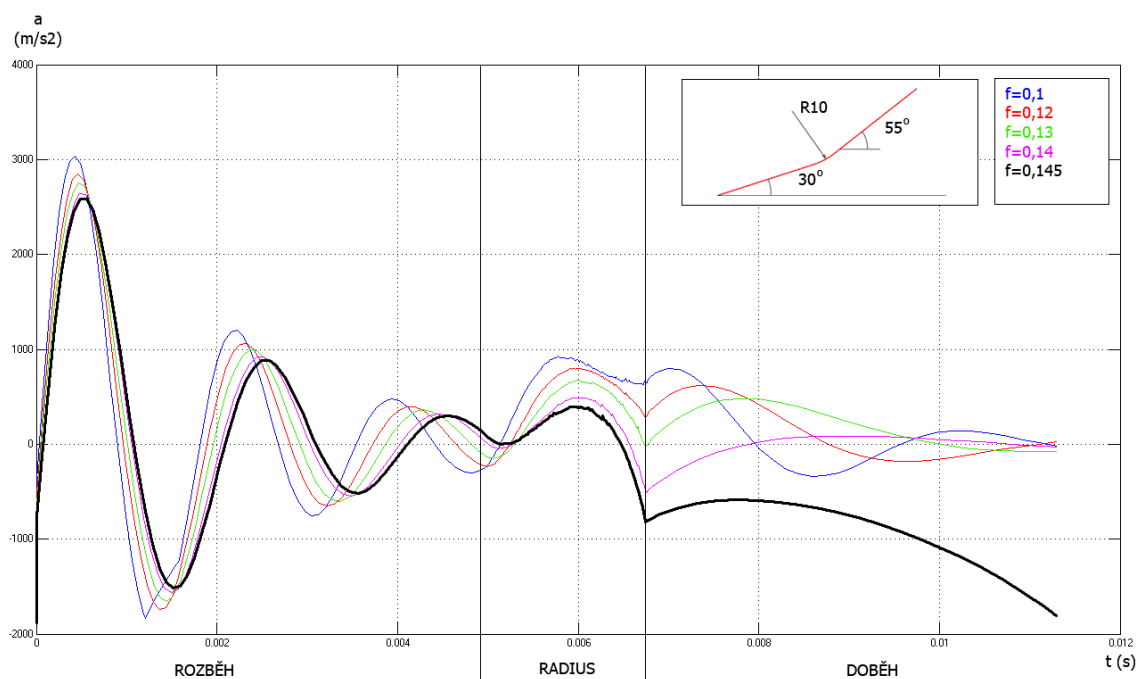
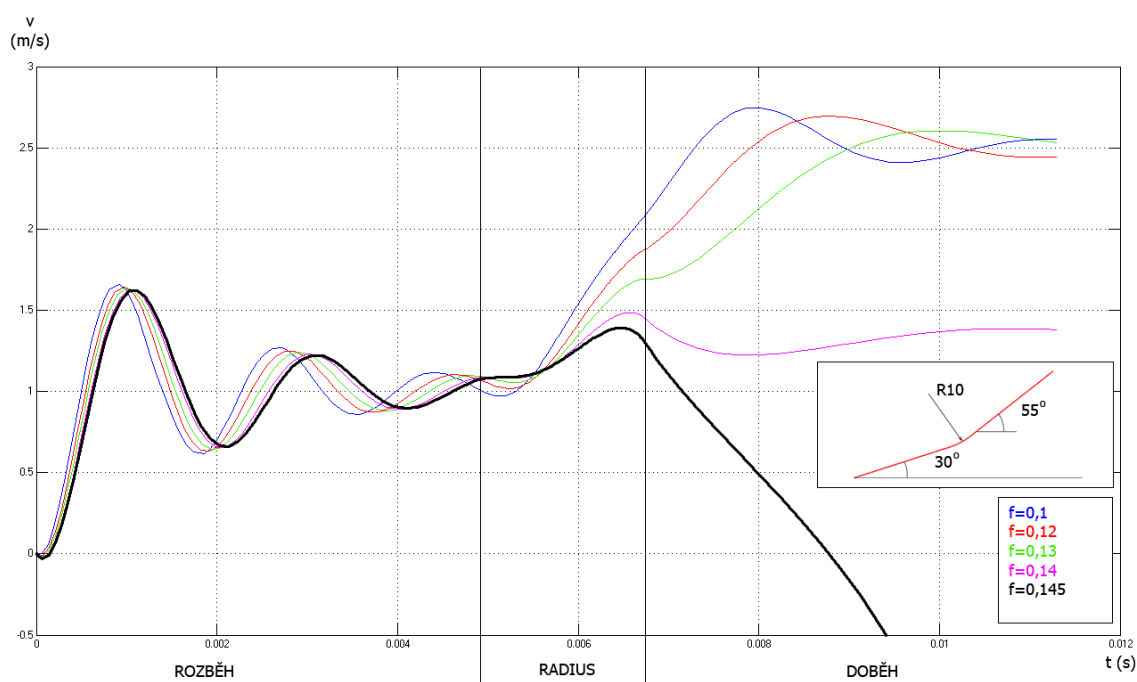
Zdvih platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=50^\circ$ **Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=50^\circ$** 

Zrychlení platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=50^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=50^\circ$** 

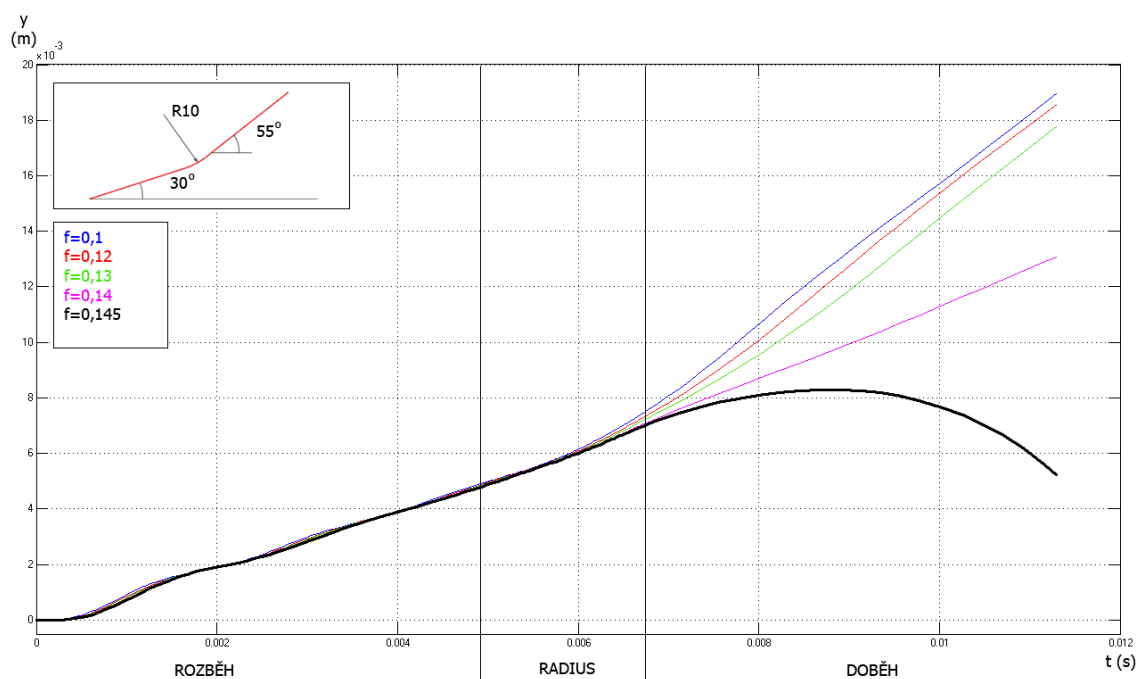
Zdvih platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=50^\circ$ **Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=50^\circ$** 

PŘÍLOHA III

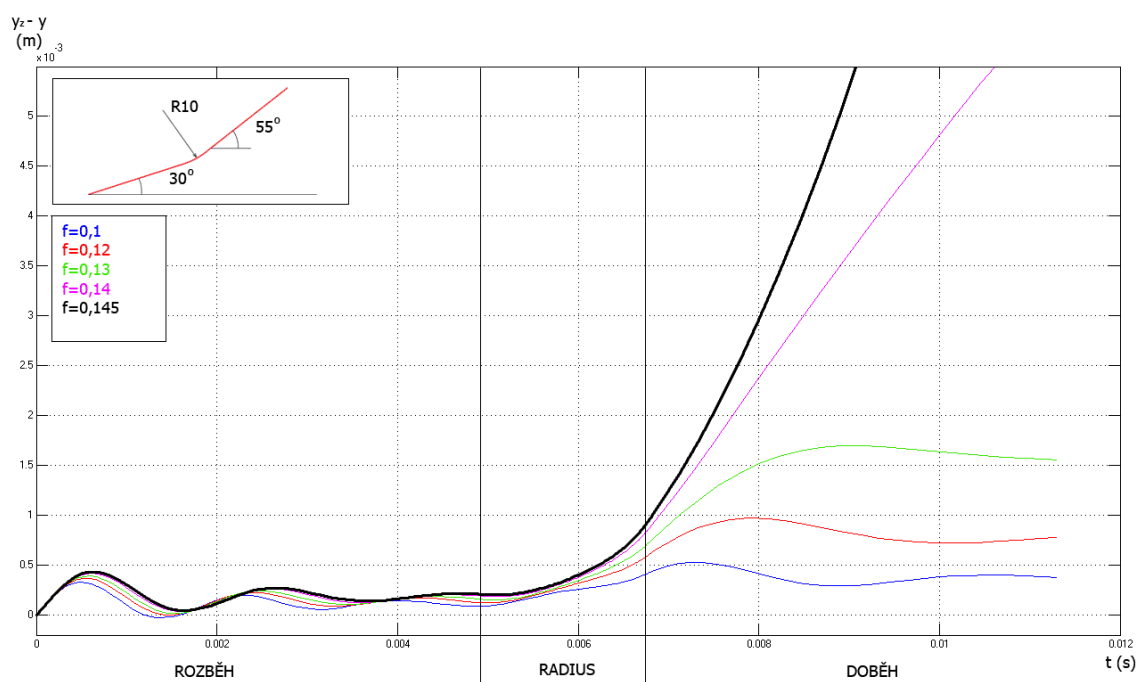
**Grafy kinematických závislostí pro zámek se sklonem
doběhové části 55°**

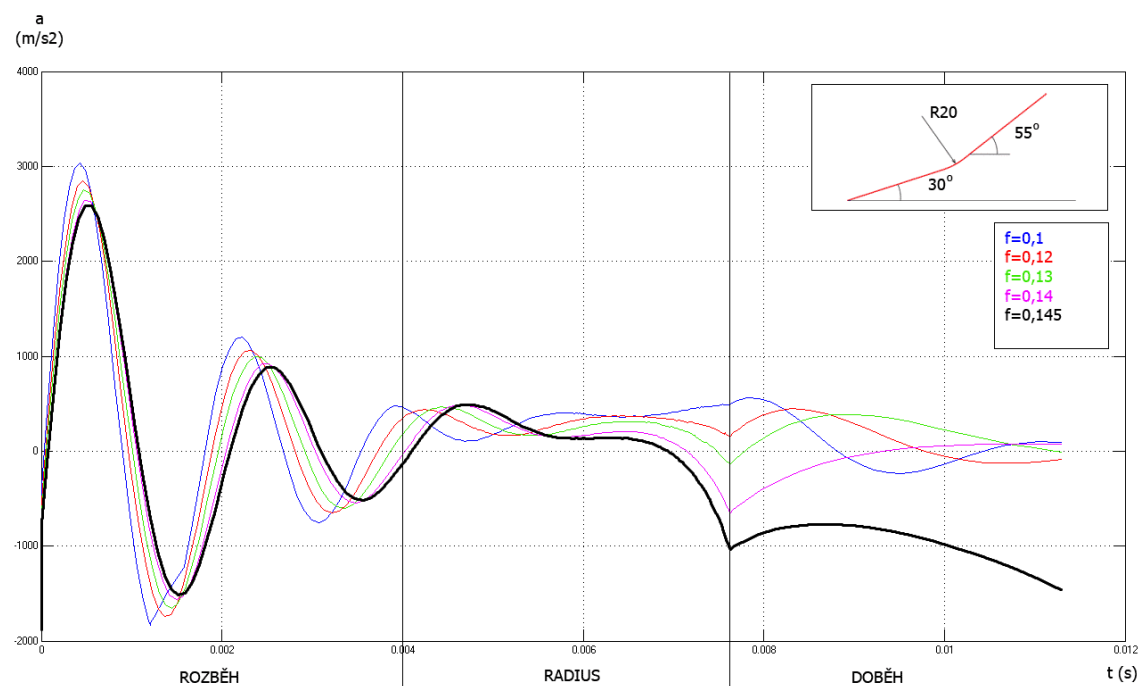
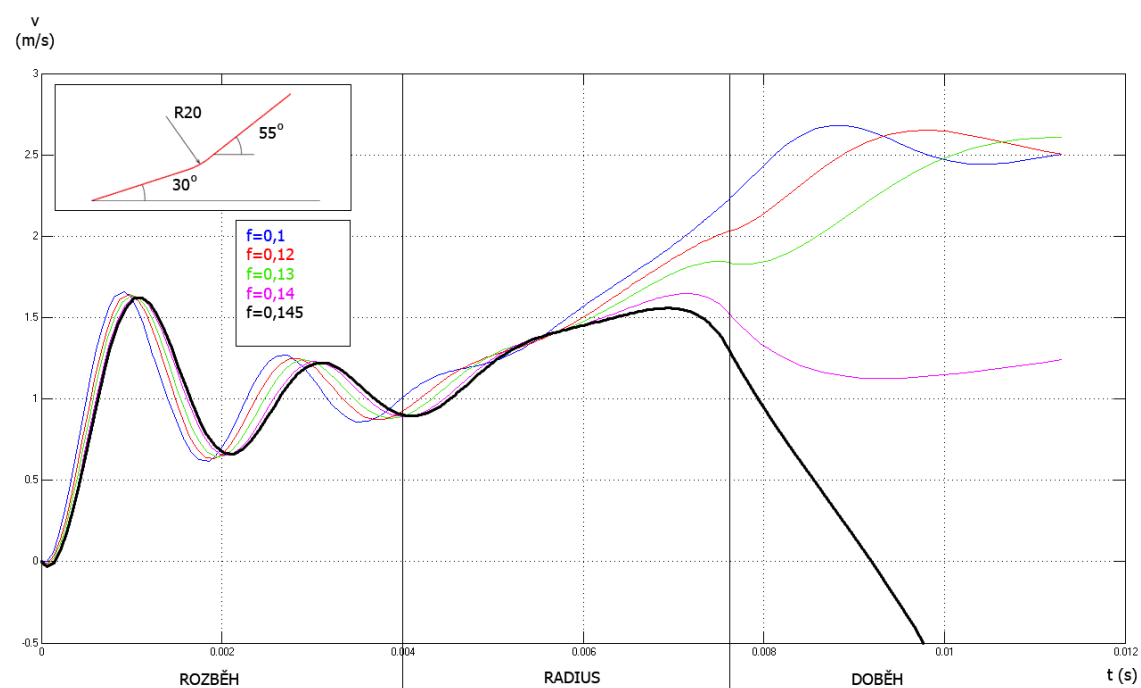
Zrychlení platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=55^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=55^\circ$** 

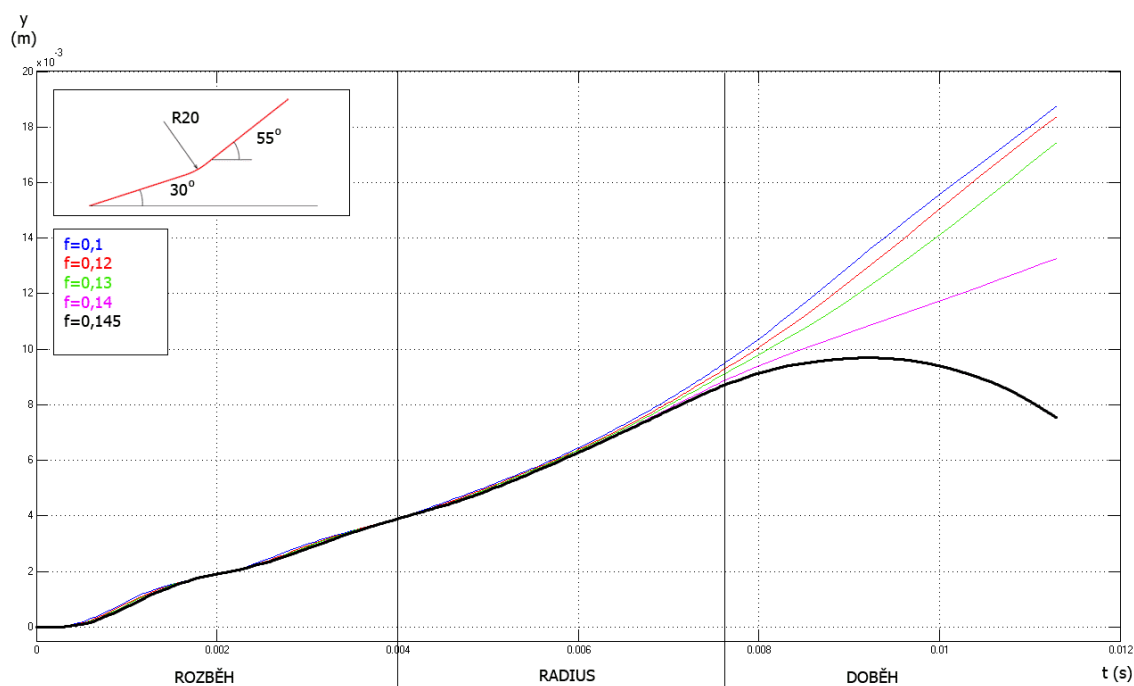
Zdvih platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=55^\circ$



Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R10, $\alpha_2=55^\circ$



Zrychlení platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=55^\circ$ **Rychlost platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=55^\circ$** 

Zdvih platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=55^\circ$ **Rozdíl zdvihů zámku a platiny pro geometrii R20, $\alpha_2=55^\circ$** 